

POWERED BY **Dialog**

REFLECTION TYPE ZOOM OPTICAL SYSTEM AND IMAGE PICKUP DEVICE USING THE SYSTEM

Publication Number: 08-292372 (JP 8292372 A) , November 05, 1996

Inventors:

- TANAKA TSUNEFUMI
- ARAKI KEISUKE
- SEKIDA MAKOTO
- KIMURA KENICHI
- NANBA NORIHIRO
- SARUWATARI HIROSHI
- AKIYAMA KENJI

Applicants

- CANON INC (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

Application Number: 07-123236 (JP 95123236) , April 24, 1995

International Class (IPC Edition 6):

- G02B-017/08
- G02B-015/00

JAPIO Class:

- 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS--- Optical Equipment)

JAPIO Keywords:

- R002 (LASERS)
- R098 (ELECTRONIC MATERIALS--- Charge Transfer Elements, CCD & BBD)

Abstract:

PURPOSE: To provide a reflection type zoom optical system and image pickup device using the system for which the arrangement accuracy of a reflection mirror frequently required for a mirror optical system is relaxed while miniaturizing the entire mirror optical system.

CONSTITUTION: Plural reflecting planes composed of optical elements or/and surface reflection mirrors, which are constituted so that light flux can be made incident from one refracting plane into the inside of a transparent body and can be emitted from the other refracting plane after being repeatedly reflected on plural reflecting planes by forming two refracting planes and plural reflecting planes on the surface of the transparent object, are integrally formed and plural optical elements, which are constituted so that the incident light flux can be emitted after being repeatedly reflected on plural reflecting planes, are provided. Then, the image of an object is formed through plural optical

elements B1-B3 and the relative positions of two optical elements B2 and B3 among the plural optical elements B1-B3 are changed at least so that zooming can be performed.

JAPIO

© 2003 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 5336872

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-292372

(43) 公開日 平成8年(1996)11月5日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 17/08
15/00

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 17/08
15/00

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全 68 頁)

(21) 出願番号 特願平7-123236

(22) 出願日 平成7年(1995)4月24日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 田中 常文

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 荒木 敬介

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 関田 誠

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

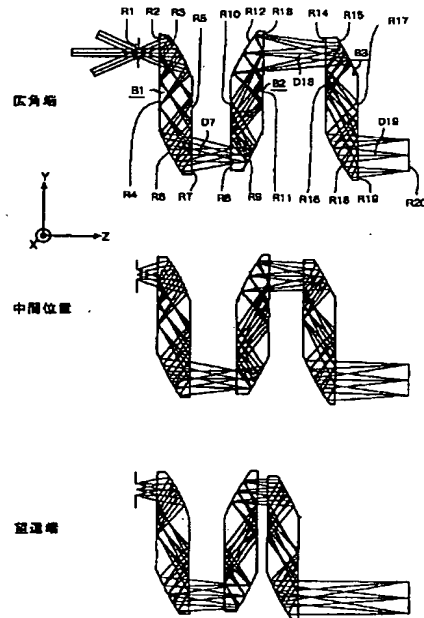
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【目的】 ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度を緩やかにした反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を得ること。

【構成】 透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子又は／及び表面反射鏡より成る複数の反射面を一体的に形成し、入射光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子を複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち、少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行う。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子又は、及び表面反射鏡より成る複数の反射面を一体的に形成し、入射光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子を複数有し、

該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち、少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行うことを特徴とする反射型のズーム光学系。

【請求項2】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸が平行であることを特徴とする請求項1の反射型のズーム光学系。

【請求項3】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、1つの移動平面上で互いに平行に移動することを特徴とする請求項2の反射型のズーム光学系。

【請求項4】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いていることを特徴とする請求項2又は3の反射型のズーム光学系。

【請求項5】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の1つは入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いており、もう1つの光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴とする請求項2又は3の反射型のズーム光学系。

【請求項6】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴とする請求項2又は3の反射型のズーム光学系。

【請求項7】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子のうちの1つを移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項8】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項9】 前記反射型のズーム光学系は、その光路の中で少なくとも1回、物体像を中間結像することを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項10】 前記複数の反射面の内、曲面の反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状であることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項11】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にあることを特徴とする請求項1～10のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項12】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にあることを特徴とする請求項11の反射型のズーム光学系。

【請求項13】 前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子が移動する移動平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系。

【請求項14】 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、互いに傾いている2つの移動平面上で夫々移動することを特徴とする請求項1又は2の反射型のズーム光学系。

【請求項15】 請求項1～14のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置に関し、特に複数の反射面を有した光学素子を複数個用い、そのうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変位させることによりズーム（変倍）を行ったビデオカメラやスチールビデオカメラ、そして複写機等に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より凹面鏡や凸面鏡等の反射面を利用した撮影光学系が種々と提案されている。図59は1つの凹面鏡と1つの凸面鏡より成る所謂ミラー光学系の概略図である。

【0003】同図のミラー光学系において、物体からの物体光束104は、凹面鏡101にて反射され、収束されつつ物体側に向かい、凸面鏡102にて反射された後、像面103に結像する。

【0004】このミラー光学系は、所謂カセグレン式反射望遠鏡の構成を基本としており、屈折レンズで構成されるレンズ全長の長い望遠レンズ系の光路を相対する二つの反射ミラーを用いて折りたたむ事により、光学系全長を短縮することを目的としたものである。

【0005】また、望遠鏡を構成する対物レンズ系においても、同様な理由から、カセグレン式の他に、複数の反射ミラーを用いて光学系の全長を短縮する形式が多数知られている。

【0006】この様に、従来よりレンズ全長の長い撮影レンズのレンズの代わりに反射ミラーを用いる事により、効率よく光路を折りたたんで、コンパクトなミラー

光学系を得ている。

【0007】しかしながら、一般的にカセグレン式反射望遠鏡等のミラー光学系においては、凸面鏡102により物体光線の一部がケラレと言う問題点がある。この問題は物体光束104の通過領域中に凸面鏡102がある事に起因するものである。

【0008】この問題点を解決する為に、反射ミラーを偏心させて使用して、物体光束104の通過領域を光学系の他の部分が遮蔽することを避ける、即ち光束の主光線106を光軸105から離すミラー光学系も提案されている。

【0009】図60は米国特許3,674,334号明細書に開示されているミラー光学系の概略図であり、光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いて物体光束の主光線を光軸から離して上記のケラレの問題を解決している。

【0010】同図のミラー光学系は光束の通過順に凹面鏡111、凸面鏡113そして凹面鏡112があるが、それらはそれぞれ図中二点破線で示す様に、もともと光軸114に対して回転対称な反射ミラーである。このうち凹面鏡111は光軸114に対して紙面上側のみ、凸面鏡113は光軸114に対して紙面下側のみ、凹面鏡112は光軸114に対して紙面下側のみを使用する事により、物体光束115の主光線116を光軸114から離し、物体光束115のケラレを無くした光学系を構成している。

【0011】図61は米国特許5,063,586号明細書に開示されているミラー光学系の概略図である。同図のミラー光学系は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させて物体光束の主光線を光軸から離して上記の問題を解決している。

【0012】同図において、被写体面121の垂直軸を光軸127と定義した時に、光束の通過順に凸面鏡122・凹面鏡123・凸面鏡124そして凹面鏡125のそれぞれの反射面の中心座標及び中心軸（その反射面の中心とその面の曲率中心とを結んだ軸）122a,123a,124a,125aは、光軸127に対して偏心している。同図ではこのときの偏心量と各面の曲率半径を適切に設定することにより、物体光束128の各反射ミラーによるケラレを防止して、物体像を効率よく結像面126に結像させている。

【0013】その他米国特許4,737,021号明細書や米国特許4,265,510号明細書にも光軸に対して回転対称な反射ミラーの一部を用いてケラレを避ける構成、或は反射ミラーの中心軸自体を光軸に対して偏心させてケラレを避ける構成が開示されている。

【0014】ところで、上記ミラー光学系を構成する複数の反射面を相対的に移動させることにより、撮影光学系の結像倍率（焦点距離）を変化させるズーミング技術も知られている。

【0015】例えば米国特許4,812,030号明細書においては、図59に示すカセグレン式反射望遠鏡の構成にお

いて、凹面鏡101から凸面鏡102までの間隔と凸面鏡102から像面103までの間隔を相対的に変化させることにより撮影光学系の変倍を行う技術が開示されている。

【0016】図62は同公報に開示されている別の実施例である。同図において、物体からの物体光束138は第一凹面鏡131に入射してこの面で反射され収束光束となって物体側に向かい第一凸面鏡132に入射し、ここで結像面側へ反射され略平行な光束となって第二凸面鏡134に入射し、この面で反射されて発散光束となって第二凹面鏡135に入射し、ここで反射されて収束光束となり像面137上に結像する。

【0017】この構成において第一凹面鏡131と第一凸面鏡132間の間隔を変化させるとともに、第二凸面鏡134と第二凹面鏡135間の間隔を変化させてズーミングを行い全系のミラー光学系の焦点距離を変化させている。

【0018】また、米国特許4,993,818号明細書においては、図59に示すカセグレン式反射望遠鏡にて結像した像を、後段に設けた別のミラー光学系にて二次結像し、この二次結像用のミラー光学系の結像倍率を変化させることにより撮影系全体の変倍を行っている。

【0019】これらの反射型の撮影光学系は、構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てることが必要であった。特に、反射ミラーの相対位置精度が厳しい為、各反射ミラーの位置及び角度の調整が必須であった。

【0020】この問題を解決する一つの方法として、例えばミラー系を一つのブロック化することにより、組立時に生じる光学部品の組み込み誤差を回避する方法が提案されている。

【0021】従来、多数の反射面が一つのブロックになっているものとして、例えばファインダー系等に使用されるペンタゴナルダハプリズムやポロプリズム等の光学プリズムがある。

【0022】これらのプリズムは、複数の反射面が一体成形されている為に、各反射面の相対的な位置関係は精度良く作られており、反射面相互の位置調整は不要となる。但し、これらのプリズムの主な機能は、光線の進行方向を変化させることで像の反転を行うものであり、各反射面は平面で構成されている。

【0023】これに対して、プリズムの反射面に曲率を持たせた光学系も知られている。

【0024】図63は米国特許4,775,217号明細書に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系は外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像を風景とオーバーラップして観察する光学系である。

【0025】この観察光学系では、情報表示体141の表示画像から射出する表示光束145は面142にて反射して物体側に向かい、凹面より成るハーフミラー面143に入射する。そしてこのハーフミラー面143にて反射した

後、表示光束145は凹面143の有する屈折力によりほぼ平行な光束となり、面142を屈折透過した後、表示画像の拡大虚像を形成するとともに、観察者の瞳144に入射して表示画像を観察者に認識させている。

【0026】一方、物体からの物体光束146は反射面142とはほぼ平行な面147に入射し、屈折して凹面のハーフミラー面143に至る。凹面143には半透過膜が蒸着されており、物体光束146の一部は凹面143を透過し、面142を屈折透過後、観察者の瞳144に入射する。これにより観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0027】図64は特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系の要部概略図である。この観察光学系も外界の風景を観察すると共に、情報表示体に表示した表示画像をオーバーラップして観察する光学系である。

【0028】この観察光学系では、情報表示体150から射出した表示光束154は、プリズムPaを構成する平面157を透過しプリズムPaに入り放物面反射面151に入射する。表示光束154はこの反射面151にて反射されて収束光束となり焦点面156に結像する。このとき反射面151で反射された表示光束154は、プリズムPaを構成する2つの平行な平面157と平面158との間を全反射しながら焦点面156に到達しており、これによって光学系全体の薄型化を達成している。

【0029】次に焦点面156から発散光として射出した表示光束154は、平面157と平面158の間を全反射しながら放物面より成るハーフミラー152に入射し、このハーフミラー面152で反射されると同時にその屈折力によって表示画像の拡大虚像を形成すると共にほぼ平行な光束となり、面157を透過して観察者の瞳153に入射し、これにより表示画像を観察者に認識させている。

【0030】一方、外界からの物体光束155はプリズムPbを構成する面158bを透過し、放物面より成るハーフミラー152を透過し、面157を透過して観察者の瞳153に入射する。観察者は外界の風景の中に表示画像をオーバーラップして視認する。

【0031】さらに、プリズムの反射面に光学素子を用いた例として、例えば特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学ヘッドがある。これらは半導体レーザーからの光をフレネル面やホログラム面にて反射させた後、ディスク面に結像し、ディスクからの反射光をディテクターに導いている。

【0032】

【発明が解決しようとする課題】前記米国特許3,674,334号明細書、米国特許5,063,586号明細書、米国特許4,265,510号明細書に開示されている偏心ミラーを有するミラー光学系は、いずれも各反射ミラーを異なる偏心量にて配置しており、各反射ミラーの取り付け構造が非常に煩雑となり、また取り付け精度を確保する事が非常に

難しいものとなっている。

【0033】又、米国特許4,812,030号明細書、米国特許4,993,818号明細書に開示されている変倍機能を有する撮影光学系は、いずれも反射ミラーや結像レンズなどの構成部品点数が多く、必要な光学性能を得る為には、それぞれの光学部品を精度良く組み立てる必要があった。

【0034】また特に反射ミラーの相対位置精度が厳しくなる為、各反射ミラーの位置及び角度の調整を行うことが必要であった。

【0035】又従来の反射型の撮影光学系は、光学系全長が長く画角の小さい所謂望遠タイプのレンズ系に適した構成となっている。そして、標準レンズの画角から広角レンズの画角までを必要とする撮影光学系を得る場合には収差補正上必要とされる反射面数が多くなる為、更に高い部品精度、高い組立精度が必要となり、コスト或は全体が大型化する傾向があった。

【0036】又、前記米国特許4,775,217号明細書、特開平2-297516号公報に開示されている観察光学系は、いずれも観察者の瞳から離れて配置されている情報表示体に表示されている表示画像を効率良く観察者の瞳に伝達する為の瞳結像作用と光線の進行方向を変化させる事を主眼としており、曲率を持った反射面にて積極的な収差補正を行う技術については直接的に開示されていない。

【0037】又、特開平5-12704号公報や特開平6-139612号公報等に開示されている光ピックアップ用の光学系は、いずれも検知光学系の使用に限定されており、撮影光学系、特にCCD等の面積型の撮像素子を用いた撮像装置に対する結像性能を満足するものではなかった。

【0038】本発明は、複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切に変化させてズームを行うことにより、ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにした反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0039】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型のズーム光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、各光学素子を構成する反射面を偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図った反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置の提供を目的とする。

【0040】

【課題を解決するための手段】本発明の反射型のズーム

光学系は、

(1-1) 透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成し、光束が1つの屈折面から該透明体の内部へ入射し、該複数の反射面で反射を繰り返して別の屈折面から射出するように構成された光学素子又は／及び表面反射鏡より成る複数の反射面を一体的に形成し、入射光束が該複数の反射面で反射を繰り返して射出するように構成された光学素子を複数有し、該複数の光学素子を介して物体の像を結像すると共に、該複数の光学素子のうち、少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行うこと等を特徴としている。

【0041】特に、

(1-1-1) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸が平行である。

(1-1-2) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、1つの移動平面上で互いに平行に移動する。

(1-1-3) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いている。

(1-1-4) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の1つは入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いており、もう1つの光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いている。

(1-1-5) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いている。

(1-1-6) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子のうちの1つを移動してフォーカシングする。

(1-1-7) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングする。

(1-1-8) 前記反射型のズーム光学系は、その光路の中で少なくとも1回、物体像を中間結像する。

(1-1-9) 前記複数の反射面の内、曲面の反射面はすべて対称面を1つだけ有する形状である。

(1-1-10) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にある。

(1-1-11) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にある。

(1-1-12) 前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子が移動する移動平面に対して傾いて

いる反射面を有している。

(1-1-13) 前記相対的位置を変化させる少なくとも2つの光学素子は、互いに傾いている2つの移動平面上で夫々移動する。

こと等を特徴としている。

【0042】又、本発明の撮像装置は、

(1-2) (1-1)～(1-1-13)のいずれか1項に記載の反射型のズーム光学系を有し、撮像媒体の撮像面上に前記物体の像を結像すること等を特徴としている。

【0043】

【実施例】実施例の説明に入る前に、実施例の構成諸元の表し方及び実施例全体の共通事項について説明する。

【0044】図1は本発明の光学系の構成データを定義する座標系の説明図である。本発明の実施例では物体側から像面に進む1つの光線(図1中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ)に沿ってi番目の面を第i面とする。

【0045】図1において第1面R1は絞り、第2面R2は第1面と共軸な屈折面、第3面R3は第2面R2に対してチルトされた反射面、第4面R4、第5面R5は各々の前面に対してシフト、チルトされた反射面、第6面R6は第5面R5に対してシフト、チルトされた屈折面である。第2面R2から第6面R6までの各々の面はガラス、プラスチック等の媒質で構成される一つの光学素子上に構成されており、図1中では第1の光学素子B1としている。

【0046】従って、図1の構成では不図示の物体面から第2面R2までの媒質は空気、第2面R2から第6面R6まではある共通の媒質、第6面R6から不図示の第7面R7までの媒質は空気で構成している。

【0047】本発明の光学系は偏心光学系であるため光学系を構成する各面は共通の光軸を持っていない。そこで、本発明の実施例においては先ず第1面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。

【0048】そして、本発明の実施例においては、第1面の光線有効径の中心点を原点とすると共に、原点と最終結像面の中心とを通る光線(基準軸光線)の経路を光学系の基準軸と定義している。さらに、本実施例中の基準軸は方向(向き)を持っている。その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向である。

【0049】本発明の実施例においては、光学系の基準となる基準軸を上記の様に設定したが、光学系の基準となる軸の決め方は光学設計上、収差の取り纏め上、若しくは光学系を構成する各面形状を表現する上で都合の良い軸を採用すれば良い。しかし、一般的には像面の中心と、絞り又は入射瞳又は射出瞳又は光学系の第1面の中心若しくは最終面の中心のいずれかを通る光線の経路を光学系の基準となる基準軸に設定する。

【0050】つまり、本発明の実施例においては、基準軸は第1面、即ち絞り面の光線有効径の中心点を通り、

最終結像面の中心へ至る光線（基準軸光線）が各屈折面及び反射面によって屈折・反射する経路を基準軸に設定している。各面の順番は基準軸光線が屈折・反射を受ける順番に設定している。

【0051】従って基準軸は設定された各面の順番に沿って屈折若しくは反射の法則に従ってその方向を変化させつつ、最終的に像面の中心に到達する。

【0052】本発明の各実施例の光学系を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

【0053】Z軸：原点を通り第2面R2に向かう基準軸
Y軸：原点を通りチルト面内（図1の紙面内）でZ軸に対して反時計回りに90°をなす直線

X軸：原点を通りZ、Y各軸に垂直な直線（図1の紙面に垂直な直線）

又、光学系を構成する第i面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第i面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解し易い為、本発明の構成データを表す実施例では第i面の面形状をローカル座標系で表す。

【0054】また、第i面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ軸に対して反時計回り方向を正とした角度 θ_i （単位°）で表す。よって、本発明の実施例では各面のローカル座標の原点は図1中のYZ平面上にある。またXZおよびXY面内での面の偏心はない。さらに、第i面のローカル座標(x,y,z)のy,z軸は絶対座標系(X,Y,Z)に対してYZ面内で角度 θ_i 傾いており、具体的には以下のように設定する。

【0055】z軸：ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ方向に対しYZ面内において反時計方向に角度 θ_i をなす直線

y軸：ローカル座標の原点を通り、z方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす直線

x軸：ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線

また、Diは第i面と第(i+1)面のローカル座標の原点間の間隔を表すスカラー量、Ndi、 ν_{di} は第i面と第(i+1)面間の媒質の屈折率とアッペ数である。

【0056】また、本発明の実施例の光学系は複数の光学素子の移動により全体の焦点距離を変化する（変倍をする）。本発明の数値データを挙げた実施例では広角端(W)、望遠端(T)とこれらの中間位置(M)の三つの位置での光学系断面図、数値データを示す。

【0057】ここで、図1の光学素子においてYZ面内で光学素子が移動すると各変倍位置で値が変わるのは各面の位置を表すローカル座標の原点(Yi, Zi)であるが、数値データを挙げた実施例では変倍のために移動する光学素子はZ方向の移動のみとして表しているため、座標

値Ziを光学系が広角端、中間、望遠端の状態の順にZi(W)、Zi(M)、Zi(T)で表すこととする。

【0058】なお、各面の座標値は広角端での値を示し、中間、望遠端では広角端との差で記述する。具体的には広角端(W)に対する中間位置(M)、望遠端(T)での移動量を各々a,bとすれば、以下の式で表す：

$$Z_i(M) = Z_i(W) + a$$

$$Z_i(T) = Z_i(W) + b$$

なお、a,bの符号は各面がZプラス方向に移動する場合を正、Zマイナス方向に移動する場合を負としている。また、この移動に伴い変化する面間隔Diは変数であり、各変倍位置での値を別表にまとめて示す。

【0059】本発明の実施例は球面及び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径R_iを記している。曲率半径R_iの符号は第1面から像面に進む基準軸（図1中の一点鎖線）に沿って曲率中心が第1面側にある場合をマイナス、結像面側にある場合をプラスとする。

【0060】ここで、球面は以下の式で表される形状である：

【0061】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_i}{1 + \{1 - (x^2 + y^2)/R_i^2\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す：

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b)\} - \{y^2 / (a \cdot b)\} - \{4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t\} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t)\}^{1/2}]$$

として

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_2 \cdot x^2 + C_0 \cdot y^3 + C_2 \cdot x^3 + C_0 \cdot y^4 + C_2 \cdot x^4 + C_0 \cdot x^4$$

上記曲面式はxに関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面対称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して対称な形状を表す。

$$【0062】C_0 = C_2 = t = 0$$

さらに

$$C_0 = C_2 = C_4 = C_6 = C_8 = C_{10} = 0$$

が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【0063】なお、本発明の各実施例においては図1に示すように、その第1面（光学系の入射側）は絞りである。又、水平半画角 u_h とは図1のYZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角、垂直半画角 u_v とはXZ面内において絞りR1に入射する光束の最大画角である。また、第1面である絞りの直径を絞り径として示している。これは光学系の明るさに関係する。なお、入射瞳は第1面

に位置するため上記絞り径は入射瞳径に等しい。

【0064】又、像面上での有効像範囲を像サイズとして示す。像サイズはローカル座標のy方向のサイズを水平、x方向のサイズを垂直とした矩形領域で表している。

【0065】又、構成データを挙げている実施例については光学系のサイズを示している。そのサイズは広角端における光線有効径によって定められるサイズである。

【0066】又、構成データを挙げている実施例についてはその横収差図を示す。横収差図は各実施例の広角端(W)、中間位置(M)、望遠端(T)の状態について、絞りR1への水平入射角、垂直入射角が夫々 (u_x, u_y) , $(0, u_y)$, $(-u_x, u_y)$, $(u_x, 0)$, $(0, 0)$, $(-u_x, 0)$ となる入射角の光束の横収差を示す。横収差図においては、横軸は瞳への入射高さを表し、縦軸は収差量を表している。各実施例とも基本的に各面がyz面を対称面とする面対称の形状となっている為、横収差図においても垂直面角のプラス、マイナス方向は同一となるので、図の簡略化の為に、マイナス方向の横収差図は省略している。

【0067】以下の実施例1から実施例4までは構成データを挙げない定性的な実施例であり、実施例5から実施例16は構成データを挙げている。

【0068】なお、実施例1から実施例4までは前記の記号命名法によらず、構成している光学素子ごとに面記号等を付している。即ち絞りは R_1 、最終像面はPとし、M番目の光学素子中ではその第1面から $R_{0.1}$, $R_{0.2}$, ..., $R_{0.M}$ と面記号を付している。

【0069】〔実施例1〕図2は本発明の実施例1の要部概略図である。本実施例は所謂二群型のズームレンズの撮像光学系の実施例である。同図において、B1、B2は複数の曲面反射面を有する第1及び第2の光学素子である。第1の光学素子B1は物体側より順に、凹屈折面 $R_{1.1}$ 及び凹面鏡 $R_{1.2}$ ・凸面鏡 $R_{1.3}$ ・凹面鏡 $R_{1.4}$ ・凸面鏡 $R_{1.5}$ の四つの反射面及び凸屈折面 $R_{1.6}$ より成り、第1の光学素子B1に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ同じ方向(向き)である。

【0070】第2の光学素子B2は物体側より凸屈折面 $R_{2.1}$ 及び凸面鏡 $R_{2.2}$ ・凹面鏡 $R_{2.3}$ ・凸面鏡 $R_{2.4}$ ・凹面鏡 $R_{2.5}$ の四つの反射面及び凸屈折面 $R_{2.6}$ より成り、第1の光学素子B1と同様に、第2の光学素子B2に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向は平行でかつ同一方向である。

【0071】B3は平行平板よりなる光学補正板であり、水晶を材料とするローパスフィルターや赤外カットフィルター等から構成している。

【0072】Pは最終像面である撮像素子面であり、例えばCCD(撮像媒体)等の撮像面である。 R_1 は第1の光学素子B1の物体側(光学系の光束入射側)に配置した絞りであり、 A_1 は撮像光学系の基準軸である。

【0073】第1の光学素子B1、第2の光学素子B2は二

群ズームレンズの一要素を構成している。

【0074】次に本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束8は、絞り R_1 により入射光量を規制された後、第1の光学素子B1の凹屈折面 $R_{1.1}$ に入射する。

【0075】次に凹屈折面 $R_{1.1}$ を屈折透過した光束は、凹面鏡 $R_{1.2}$ にて反射されるとともに、凹面鏡のパワーにより1次結像面N1に結像する。

【0076】このように、一旦第1の光学素子B1内に物体像を結像することは、絞り R_1 より像側に配置された面の光線有効径の増大を抑制するのに有効である。

【0077】1次結像面N1に一次結像した光束は、凸面鏡 $R_{1.3}$ 、凹面鏡 $R_{1.4}$ 、凸面鏡 $R_{1.5}$ にて反射を繰り返し、それぞれの反射鏡の持つパワーにより収束或は発散作用を受けて、凸屈折面 $R_{1.6}$ に至り、ここで屈折した光束は2次結像面N2上に物体像を形成する。

【0078】この様に第1の光学素子B1は、入出射面による屈折と、複数の曲面反射鏡による反射を繰り返して、所望の光学性能を備える全体として正のパワーを有するレンズユニットとして機能している。

【0079】2次結像面N2の物体像からの光束は、第2の光学素子B2の凸屈折面 $R_{2.1}$ を透過した後、凸面鏡 $R_{2.2}$ 、凹面鏡 $R_{2.3}$ を経て3次結像面N3に結像する。

【0080】これは、第1の光学素子B1内に物体像を結像させた事と同様な理由によるもので、第2の光学素子B2における各面の光線有効径の増加を押さえるのに有効である。

【0081】3次結像面N3に結像した光束は凸面鏡 $R_{2.4}$ 、凹面鏡 $R_{2.5}$ にて反射を繰り返し、それぞれの反射鏡の持つパワーによる影響を受けて凸屈折面 $R_{2.6}$ に至り、ここに屈折した光束は光学補正板B3を通過後、撮像素子面P上に結像する。

【0082】この様に第2の光学素子B2は、第1の光学素子B1が2次結像面N2上に形成した物体像を撮像素子面P上に再結像しており、第1の光学素子B1と同様に、入出射面による屈折と、複数の曲面反射鏡による反射を繰り返して、所望の光学性能を備えた、全体として正のパワーを有するレンズユニットとして機能している。

【0083】また、本実施例においては、第1及び第2の光学素子B1、B2を撮像素子面(結像面)Pに対して相対的に移動することにより、撮像光学系の焦点距離(結像倍率)を変化する。(変倍或はズームングと称される動作である。)

その変倍作用について図3によって説明する。図3は実施例1の第1及び第2の光学素子B1、B2を夫々単一の薄肉レンズとし、撮像光学系をその基準軸に対して展開した光学配置図である。なお、図3(A)は光学系が広角端の状態(W)の配置図であり、図3(B)は望遠端の状態(T)の配置図である。

【0084】同図において、第1の光学素子B1の焦点距

離を f_1 、第2の光学素子B2の焦点距離を f_2 、とする。光学系が広角端の状態の場合、第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 から2次結像面N2までの距離を x_0 (-)、後側焦点 F_2' から結像面Pまでの距離を x_0' とする。(なお、下付き字の 0 や 1 は夫々光学系が広角端、望遠端の場合の値を意味している。)

ニュートンの結像公式により

$$x_0 * x_0' = -f_2^2$$

が成り立っているならば、第2の光学素子B2の結像倍率 β_{20} は、

$$\begin{aligned}\beta_{20} &= -(x_0' + f_2) / (-x_0 + f_2) \\ &= f_2 / x_0 \\ &= -x_0' / f_2\end{aligned}\quad (1)$$

と、又広角端の焦点距離 f_0 は、

$$\begin{aligned}f_0 &= f_1 * \beta_{20} \\ &= f_1 * f_2 / x_0\end{aligned}\quad (2)$$

となる。

【0085】ここで、第2の光学素子B2がニュートンの結像公式を満足しつつ移動し、第2の光学素子B2の移動に伴う中間結像面N2の位置変化を補正する様に、第1の光学素子B1が移動することにより、光学系はその最終結像位置Pを変えずに焦点距離を変化する。

【0086】第2の光学素子B2がある一定量移動して広角端(W)から望遠端(T)へ変倍したとする。第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 から中間結像面N2までの距離を x_1 (-)、後側焦点 F_2' から結像面Pまでの距離を x_1' とすると、第2の光学素子B2の結像倍率 β_{21} は、

$$\begin{aligned}\beta_{21} &= (x_1' + f_2) / (-x_1 + f_2) \\ &= f_2 / x_1 \\ &= -x_1' / f_2\end{aligned}\quad (3)$$

、望遠端の焦点距離 f_1 は、

$$\begin{aligned}f_1 &= f_1 * \beta_{21} \\ &= f_1 * f_2 / x_1\end{aligned}\quad (4)$$

となるので、この光学系の変倍比Zは、

$$\begin{aligned}Z &= f_1 / f_0 \\ &= x_0 / x_1\end{aligned}\quad (5)$$

となる。

【0087】この様に、第1の光学素子B1と第2の光学素子B2間及び第2の光学素子B2と撮像素子面P間の相対的位置関係を変化させる事により、最終結像位置Pを変化させずに焦点距離(結像倍率)を変化する事が可能である。次に、実施例1において合焦(フォーカシング)は、光学系を構成する任意の光学素子を移動させることにより達成可能であるが、フォーカシング用のアクチュエーターの負荷を考えると、最も重量が軽い光学素子を移動することが好ましい。

【0088】又、撮影する被写体までの距離に対して光学素子の移動量を変倍によらず一定にしたい場合には、最も物体側に配置した第1の光学素子B1を移動させれば良い。

【0089】なお、変倍時に移動する第2の光学素子B2をフォーカシングの際にも移動させることにより変倍用アクチュエーターとフォーカシング用アクチュエーターの共通化を図れる。

【0090】本実施例の効果の説明する。

【0091】本実施例においては変倍時に移動する反射面がユニット化されている為に、従来のミラー光学系において最も精度が要求される各反射面の相対的な位置精度は保証されている。そこで本実施例では第1の光学素子B1及第2の光学素子B2間の位置精度を確保すれば良く、従来の屈折レンズ系における移動レンズ群と同様な位置精度で良いことになる。

【0092】屈折レンズ系に比して、各光学素子を複数の曲面反射面が一体的に形成されたレンズユニットとして構成している為に、光学系全体の部品点数が少なくなり、光学系の低コスト化が達成出来るとともに、部品の取り付けによる累積誤差も少なくなる。

【0093】複数回の結像を行いながら、物体像を伝達して行く構成を取る事により、各面の光線有効径を小さく抑え、各光学素子及び撮影光学系全体のコンパクト化を達成している。

【0094】又、中間結像の結像サイズを撮像素子面サイズに対して比較的小さく設定する事により、物体像の伝達に際して各面の光線有効径を小さく抑えている。

【0095】従来の撮影光学系の場合、絞りを光学系の内部に配置する場合が多く、絞りを光学系の内部に配置した場合には、絞りより物体側に配置されたレンズの光線有効径は、絞りとの間隔が離れているほど、画角の拡大に伴って大きくなってしまいう問題点があった。

【0096】本実施例においては、絞り B_L を撮影光学系の物体側の第1の光学素子B1の入射面近傍に設置することにより、撮影光学系の焦点距離を広角化した時に生じる撮影光学系前群の光線有効径の拡大を抑えている。

【0097】そして各光学素子内に物体像を結像することにより、絞り B_L より像側に配置された面の光線有効径の増大を効果的に抑制している。

【0098】第1の光学素子B1及び第2の光学素子B2の基準軸は全てYZ平面内にある。従って、各光学素子の移動をYZ平面と平行な面上に設定することにより、第1の光学素子B1及び第2の光学素子B2が変倍に際して移動しても、基準軸を含むYZ平面と各光学素子が移動する平面との平行度は容易に保たれ、各光学素子B1,B2のX軸方向の平行偏心及びY軸、Z軸回りの回転を除去することは容易である。

【0099】但し、基準軸を含むYZ平面と両光学素子が移動する平面とが傾いていても、基準軸を含むYZ平面が変倍に際して移動する方向ベクトルと移動平面が平行であれば、偏心収差が発生することは無い。

【0100】各光学素子は一平面上に配置されているので、各光学素子を一方方向から組み込む構造を容易にと

ることが出来、組立が非常に容易になる。

【0101】なお、本実施例では、2次結像面N2が第1の光学素子B1と第2の光学素子B2の中間に形成されているが、第1の光学素子B1若しくは第2の光学素子B2の内部に2次結像面があっても良い。

【0102】また、変倍時における光学素子の移動方向は、広角端から望遠端への移動に際して各反射面の基準軸の入射点位置を変えなければ、変倍時に生じる誤差を最少限にとどめられるので、各光学素子B1,B2に入射、射出する基準軸の方向を平行にするとともに、各光学素子の移動も該光学素子に入射、射出する基準軸線上に沿って平行に移動している。

【0103】本発明においては、各光学素子に入射・射出する基準軸方向が平行な光学素子を構成する場合、入射方向に対して射出方向を同方向とするか、反対方向とするかの二種類のパターンが考えられる。入射方向に対して射出方向を反対方向とした場合、光学素子の移動に伴って入射側及び射出側の間隔が移動量と同一量変化する為に、全体として移動量の2倍分だけ光路長を変化させることが可能となる。

【0104】又、入射方向に対して射出方向を同方向とした場合、入射した基準軸と射出する基準軸の位置を所望の位置にシフトすることが可能となる。

【0105】本発明の実施例は上記2種類のパターンで構成することが可能なので、本発明では光学配置上の自由度を増すことが出来る。

【0106】しかしながら、光学素子の移動方向は2つの光学素子への入射、射出する基準軸方向と平行である必要はなく、例えば光学系へ入射する基準軸の方向と移動光学素子の移動方向が、30°、45°、60°等のある角度をなしていても良い。

【0107】〔実施例2〕図4は本発明の実施例2の要部概略図である。本実施例は所謂二群型のズームレンズの撮像光学系の実施例である。本実施例は変倍時に移動する光学素子の移動方向が最も物体側に配置された光学素子の入射基準軸の方向にたいして平行でない実施例である。

【0108】同図においてB1、B2は複数の曲面反射面を有する第1、第2の光学素子である。第1の光学素子B1は物体側より順に、凹屈折面R_{1,1}及び凹面鏡R_{1,2}・凸面鏡R_{1,3}・凹面鏡R_{1,4}・凹面鏡R_{1,5}の四つの反射面及び凸屈折面R_{1,6}より成り、全体として正の屈折力を有するレンズユニットである。そして第1の光学素子B1に入射する基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向が略45°の傾きを持っている。

【0109】第2の光学素子B2は物体側より凹屈折面R_{2,1}及び凹面鏡R_{2,2}・凹面鏡R_{2,3}・凸面鏡R_{2,4}・凹面鏡R_{2,5}・凹面鏡R_{2,6}・凹面鏡R_{2,7}の6つの反射面及び凸屈折面R_{2,8}より成り、全体として正の屈折力を有するレンズユニットである。そして第2の光学素子B2に入射する

基準軸の方向とこれから射出する基準軸の方向が平行でかつ反対方向となっている。

【0110】B3は平行平板よりなる光学補正板であり、水晶ローパスフィルターや赤外カットフィルター等である。

【0111】Pは撮像素子面であり、CCD（撮像媒体）等の撮像面である。B₄は第1の光学素子B1の物体側に配置した絞り、A₁は光学系の基準軸である。

【0112】本実施例の結像作用を説明する。物体からの光束は、絞りB₄により入射光量を規制された後、第1の光学素子B1の凹屈折面R_{1,1}を屈折透過し、凹面鏡R_{1,2}、凸面鏡R_{1,3}、平面鏡R_{1,4}、凹面鏡R_{1,5}にて反射を繰り返して、それぞれの反射鏡の持つパワーにより収束或は発散作用を受けて、凸屈折面R_{1,6}に至り、ここで屈折した光束は中間結像面N1上に物体像を形成する。なお、第1の光学素子B1中でも一旦物体の中間像を形成している。

【0113】中間結像面N1の物体像からの光束は、第2の光学素子B2の凹屈折面R_{2,1}を透過した後、凹面鏡R_{2,2}、凹面鏡R_{2,3}、凸面鏡R_{2,4}、凹面鏡R_{2,5}、凹面鏡R_{2,6}、凹面鏡R_{2,7}を経て凸屈折面R_{2,8}を屈折して第2の光学素子B2から射出する。なお、第2の光学素子B2中でも一旦物体の中間像を形成している。

【0114】第2の光学素子B2から射出した光束は光学補正板B3を通過後、撮像素子面P上に結像する。

【0115】本実施例において、異なる物体距離に対するフォーカシングは、第2の光学素子B2を移動させることにより行っている。この時第2の光学素子B2の移動は、第1の光学素子B1から射出する基準軸A₁の方向に平行に移動するが、第1の光学素子B1の入射する基準軸A₀の方向と射出する基準軸A₁の方向は略45°の傾きをなしている為、第1の光学素子B1の入射する基準軸A₀の方向に対して、第2の光学素子B2がフォーカシングに際して移動する方向は略45°傾いていることとなる。

【0116】従って第2の光学素子B2はフォーカシングに際してこれに入射、射出する基準軸A₁、A₂の方向に対して平行に移動するものの、第1の光学素子B1の入射する基準軸A₀の方向に対しては45°の傾きをもって移動する。

【0117】又、本実施例においても実施例1と同様に第1、第2の光学素子B1,B2が結像面Pに対して相対的に移動することにより、撮像光学系の結像倍率を変化させる。但し、各光学素子に入射、射出する基準軸の方向と、各光学素子の移動方向が全て平行であった実施例1とは異なり、第1の光学素子B1に入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向は45°の傾きを為しているの、変倍動作時に第1の光学素子B1から第2の光学素子B2に入射する基準軸の方向を維持する為に、第1の光学素子B1の移動方向を第2の光学素子B2の入射基準軸の方向に対して平行に移動する。

【0118】[実施例3] 図5は本発明の実施例3の要部概略図である。本実施例は所謂二群型のズームレンズの撮像光学系の実施例である。同図において、B1、B2は複数の曲面反射面を有する第1及び第2の光学素子である。第1の光学素子B1は物体側より順に、凹屈折面 $R_{1,1}$ 及び凹面鏡 $R_{1,2}$ ・凸面鏡 $R_{1,3}$ ・凹面鏡 $R_{1,4}$ ・凸面鏡 $R_{1,5}$ の四つの反射面及び凹屈折面 $R_{1,6}$ より成り、全体として負の屈折力を有するレンズユニットである。そして、実施例1と同様に第1の光学素子B1に入射する基準軸 A_0 の方向とこれから射出する基準軸 A_1 の方向が平行でかつ同一方向である。

【0119】第2の光学素子B2は物体側より凸屈折面 $R_{2,1}$ 及び凸面鏡 $R_{2,2}$ ・凹面鏡 $R_{2,3}$ ・凸面鏡 $R_{2,4}$ ・凹面鏡 $R_{2,5}$ の四つの反射面及び凸屈折面 $R_{2,6}$ より成り、全体として正の屈折力を有するレンズユニットである。そして第1の光学素子B1と同様に第2の光学素子B2に入射する基準軸 A_1 の方向とこれから射出する基準軸 A_2 の方向が平行でかつ同一方向である。

【0120】B3は平行平板よりなる光学補正板であり、水晶ローパスフィルターや赤外カットフィルター等である。

【0121】Pは撮像素子面であり、CCD（撮像媒体）等の撮像面である。 B_1 は第1の光学素子B1の物体側に配置した絞り、 A_1 は光学系の基準軸である。

【0122】本実施例の結像作用を説明する。物体からの光束は、絞り B_1 により入射光量を規制された後、第1の光学素子B1の凹屈折面 $R_{1,1}$ を屈折透過し、凹面鏡 $R_{1,2}$ 、凸面鏡 $R_{1,3}$ 、凹面鏡 $R_{1,4}$ 、凸面鏡 $R_{1,5}$ にて反射を繰り返し、それぞれの反射鏡の持つパワーにより収束或は発散作用を受けて、凹屈折面 $R_{1,6}$ に至り、ここで屈折して第1の光学素子B1から射出する。なお、第1の光学素子B1中では一旦物体の中間像を形成している。

【0123】次いで光束は、第2の光学素子B2の凸屈折面 $R_{2,1}$ を透過した後、凸面鏡 $R_{2,2}$ 、凹面鏡 $R_{2,3}$ 、凸面鏡 $R_{2,4}$ 、凹面鏡 $R_{2,5}$ で反射を繰り返し、凸屈折面 $R_{2,6}$ を屈折して第2の光学素子B2から射出する。なお、第2の光学素子B2中でも一旦物体の中間像を形成している。

【0124】第2の光学素子B2から射出した光束は光学補正板B3を通過後、撮像素子面P上に結像する。

【0125】本実施例においては実施例1と同様に、第1の光学素子B1及び第2の光学素子B2を結像面Pに対して相対的に移動することにより、最終結像位置Pを変えずに光学系の焦点距離（結像倍率）を変化させる。

【0126】本実施例の変倍作用を図6によって説明する。図6は実施例3の各光学素子を夫々単一の薄肉レンズとし、光学系をその基準軸に対して展開した光学配置図である。なお、図6（A）は光学系が広角端の状態（W）の配置図であり、図6（B）は望遠端の状態（T）の配置図である。

【0127】同図において、第1の光学素子B1の焦点距

離を f_1 （-）、第2の光学素子B2の焦点距離を f_2 とする。光学系が広角端の状態の場合、第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 から第1の光学素子B1の像点までの距離を x_0 （-）、後側焦点 F_2' から結像面Pまでの距離を x_0' としたときに、ニュートンの結像公式

$$x_0 \cdot x_0' = -f_1 \cdot f_2$$

が成り立っているならば、第2の光学素子B2の結像倍率 $\beta_{2,0}$ は、

$$\beta_{2,0} = -(x_0' + f_2) / (-x_0 + f_2)$$

$$= f_2 / x_0$$

$$= -x_0' / f_2$$

(6)

となり、広角端の焦点距離 f_0 は、

$$f_0 = f_1 \cdot \beta_{2,0}$$

$$= f_1 \cdot f_2 / x_0$$

(7)

となる。

【0128】ここで、第2の光学素子B2がニュートンの結像公式を満足しつつ移動し、第2の光学素子B2の移動に伴う第2の光学素子B2の物点の位置変化を補正する様に、第1の光学素子B1が移動することにより、光学系は最終結像位置Pを変えずに全体の焦点距離を変化させることが出来る。

【0129】第2の光学素子B2がある一定量移動して広角端（W）から望遠端（T）へと変倍したとする。この望遠端の状態の時、第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 から第1の光学素子B1の像点までの距離を x_1 （-）、後側焦点 F_2' から結像面Pまでの距離を x_1' とすると、第2の光学素子B2の結像倍率 $\beta_{2,T}$ は、

$$\beta_{2,T} = (x_1' + f_2) / (-x_1 + f_2)$$

$$= f_2 / x_1$$

$$= -x_1' / f_2$$

(8)

、望遠端の焦点距離 f_T は、

$$f_T = f_1 \cdot \beta_{2,T}$$

$$= f_1 \cdot f_2 / x_1$$

(9)

となるので、光学系の変倍比Zは、

$$Z = f_T / f_0$$

$$= x_0 / x_1$$

(10)

となる。

【0130】実施例1では、第1の光学素子B1と第2の光学素子B2の間に2次結像面N2が存在するが、本実施例においては、第1の光学素子B1は全体として負の屈折力を有し、無限遠からの物体光束を物体側に虚像として結像し、この虚像位置を物点として第2の光学素子B2の結像関係が成り立っている。

【0131】また、本実施例の構成とは逆に、物体側から順に全体として正の屈折力を有する光学素子と、その後方に負の屈折力を有する光学素子がある場合にも、各光学素子を相対的に移動することにより、撮影光学系の焦点距離（結像倍率）を変化させることが出来る。

【0132】[実施例4] 図7は本発明の実施例4の要部概略図である。本実施例は所謂三群型のズームレンズ

の撮像光学系の実施例である。同図において、B1、B2、B3は夫々複数の曲面反射面を有する第1、第2、第3の光学素子であり、第1の光学素子B1は物体側より順に、凹屈折面 $R_{1,1}$ 及び凹面鏡 $R_{1,2}$ ・凸面鏡 $R_{1,3}$ ・凹面鏡 $R_{1,4}$ の三つの反射面及び凸屈折面 $R_{1,5}$ より成り、全体として正の屈折力を持ち、第1の光学素子B1に入射する基準軸 A_0 の方向とこれから射出する基準軸 $A_{1,1}$ の方向が略直角となっている。

【0133】第2の光学素子B2は物体側より平面 $R_{2,1}$ 及び凹面鏡 $R_{2,2}$ ・平面鏡 $R_{2,3}$ ・凸面鏡 $R_{2,4}$ ・平面鏡 $R_{2,5}$ ・凹面鏡 $R_{2,6}$ の五つの反射面及び平面 $R_{2,7}$ より成り、全体として正の屈折力を持ち、第2の光学素子B2に入射する基準軸 $A_{1,1}$ の方向とこれから射出する基準軸 $A_{2,1}$ の方向が平行でかつ反対方向となっている。

【0134】第3の光学素子B3は物体側より順に、凸屈折面 $R_{3,1}$ 及び凸面鏡 $R_{3,2}$ ・凹面鏡 $R_{3,3}$ ・凹面鏡 $R_{3,4}$ ・凸面鏡 $R_{3,5}$ の四つの反射面及び凹屈折面 $R_{3,6}$ より成り、全体として正の屈折力を持ち、第3の光学素子B3に入射する基準軸 $A_{2,1}$ の方向とこれから射出する基準軸 $A_{3,1}$ の方向が平行でかつ同一方向となっている。

【0135】B4は第4の光学素子であり、物体側より順に、凸屈折面 $R_{4,1}$ 、平面鏡 $R_{4,2}$ 、平面 $R_{4,3}$ より成る三角プリズムであり、第4の光学素子B4に入射する基準軸 $A_{3,1}$ の方向とこれから射出する基準軸 $A_{4,1}$ の方向が略直角となっている。

【0136】B5は平行平板よりなる光学補正板であり、水晶を材料とするローパスフィルタや赤外カットフィルタ等である。

【0137】Pは撮像素子面であり、例えばCCD（撮像媒体）等の撮像面である。 R_0 は第1の光学素子B1の物体側に配置した絞り、 A_0 は本光学系の基準軸である。

【0138】本実施例における結像作用を説明する。物体からの光束はまず絞り R_0 により入射光量を規制された後、第1の光学素子B1に入射する。第1の光学素子B1はその射出面 $R_{1,5}$ と第2の光学素子B2の入射面 $R_{2,1}$ との間に1次結像面N1を形成する。

【0139】1次結像面N1に形成された物体像は、第2の光学素子B2によりその射出面 $R_{2,7}$ と第3の光学素子B3の入射面 $R_{3,1}$ との間の2次結像面N2上に再結像される。

【0140】そしてまた、中間結像面N2に形成された物体像は第3の光学素子B3によりその射出面 $R_{3,6}$ と第4の光学素子B4の入射面 $R_{4,1}$ との間の3次結像面N3上に再結像される。

【0141】そして第4の光学素子B4は3次結像面N3に形成された物体像からの光束を収束し、光学補正板B5を介して撮像素子面Pに結像する。

【0142】本実施例においては、特に図7中のZ方向の長さを短縮する為に、各光学素子により光路を効果的に折りたたみ、Z方向の長さを著しく短縮する配置を行っている。

【0143】即ち、第1の光学素子B1に入射した光束は凹屈折面 $R_{1,1}$ に入射後、その後方に配置された凹面鏡 $R_{1,2}$ により、入射方向と直角方向即ちY(-)方向に反射される。

【0144】次に凸面鏡 $R_{1,3}$ により物体光束をZ(-)方向に反射させて光学系のZ軸方向の長さを短縮している。

【0145】Z(-)方向に反射された物体光束は凹面鏡 $R_{1,4}$ により再びY(-)方向に反射された後、凸屈折面 $R_{1,5}$ を透過し、第2の光学素子B2に入射する。

【0146】第2の光学素子B2においては、平面 $R_{2,1}$ 及び平面 $R_{2,7}$ にて物体光が全反射する様に構成しており、第2の光学素子B2の入射面 $R_{2,1}$ における光線有効領域と平面 $R_{2,7}$ における光線有効領域をオーバーラップさせ、さらに第2の光学素子B2の射出面 $R_{2,7}$ における光線有効領域と平面 $R_{2,1}$ における光線有効領域をオーバーラップさせる事により、この光学素子のZ軸方向の長さを短くしている。

【0147】そして、第2の光学素子B2にY(-)方向から入射した物体光束はY(+)方向に射出し第3の光学素子B3に入射する。

【0148】第3の光学素子B3では、物体光束は凸面鏡 $R_{3,2}$ にてZ(-)方向に反射され、第1の光学素子B1と干渉しない位置にて、凹面鏡 $R_{3,3}$ によりY(+)方向に反射された後、凹面鏡 $R_{3,4}$ にて一旦Z(+)方向にもどり、凸面鏡 $R_{3,5}$ への入射点と略同一のZ位置にて、凸面鏡 $R_{3,5}$ によりY(+)方向に反射され、凹屈折面 $R_{3,6}$ を透過して第4の光学素子B4に入射する。

【0149】第4の光学素子B4では物体光束は平面鏡 $R_{4,2}$ によりZ(-)方向に反射された後、光学補正板B5を透過して撮像素子面Pに結像する。

【0150】本実施例の第1、第2、第3の光学素子B1、B2、B3は所謂三群型のズームレンズの一要素を構成している。そして第2の光学素子B2と第3の光学素子B3を相対移動することにより、撮影光学系の焦点距離（結像倍率）を変化させる。

【0151】本実施例における変倍動作を説明する。変倍に際して第1の光学素子B1、第4の光学素子B4、光学補正板B5及び結像面Pを固定とし、第2の光学素子B2と第3の光学素子B3を移動している。

【0152】第2の光学素子B2は、広角端から望遠端への変倍に際して、第1の光学素子B1から離れるY(-)方向に移動する。

【0153】この為、光学素子B1～B2間の間隔は広がるが、第2の光学素子B2は入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向が平行でかつ反対方向となっている為に、入射する基準軸と射出する基準軸が同方向となっている実施例1の場合とは異なり、光学素子B2～B3間の間隔も、光学素子B1～B2間の間隔と同量だけ広がることになる。

【0154】すなわち、第2の光学素子B2の移動量を δ

とした時に、第1の光学素子B1と結像面Pが変倍中固定であっても、撮影光学系の全長は第2の光学素子B2の移動量 δ の2倍だけ長くなる。

【0155】図8は実施例4の各光学素子を夫々単一の薄肉レンズとし、撮像光学系をその基準軸に対して展開した光学配置図である。これによって変倍動作を説明する。なお、図8(A)は光学系が広角端の状態(W)の配置図であり、図8(B)は望遠端の状態(T)の配置図である。

【0156】同図において、第1の光学素子B1の焦点距離を f_1 、第2の光学素子B2の焦点距離を f_2 、第3の光学素子B3の焦点距離を f_3 、第4の光学素子B4の焦点距離を f_4 とする。

【0157】光学系が広角端にある状態において、第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 から1次結像面N1までの距離を $x_{2\tau}(-)$ 、後側焦点 F_2' から2次結像面N2までの距離を $x_{2\tau}'$ 、第3の光学素子B3の前側焦点 F_3 から2次結像面N2までの距離を $x_{3\tau}(-)$ 、後側焦点 F_3' から3次結像面N3までの距離を $x_{3\tau}'$ 、第4の光学素子B4の前側焦点 F_4 から3次結像面N3までの距離を $x_{4\tau}(-)$ 、後側焦点 F_4' から結像面Pまでの距離を $x_{4\tau}'$ とする。

【0158】又、第2の光学素子B2の結像倍率を $\beta_{2\tau}$ 、第3の光学素子の結像倍率を $\beta_{3\tau}$ 、第4の光学素子B4の結像倍率を β_4 とする。(なお、下付き字 τ や τ' は夫々光学系が広角端の状態、望遠端の状態を表す)各中間結像及び結像面間でニュートンの結像公式が成り立っているならば、第1の光学素子B1より後ろの光学素子による合成倍率 β_{τ} は、

$$\begin{aligned}\beta_{\tau} &= \beta_{2\tau} * \beta_{3\tau} * \beta_4 \\ &= (f_2/x_{2\tau}) * (f_3/x_{3\tau}) * (f_4/x_{4\tau}) \\ &= (f_2 * f_3 * f_4) / (x_{2\tau} * x_{3\tau} * x_{4\tau})\end{aligned}\quad (11)$$

であり、広角端の焦点距離 f_{τ} は、

$$\begin{aligned}f_{\tau} &= f_1 * \beta_{\tau} \\ &= (f_1 * f_2 * f_3 * f_4) / (x_{2\tau} * x_{3\tau} * x_{4\tau})\end{aligned}\quad (12)$$

と表現できる。

【0159】ここで、第2の光学素子B2が第1の光学素子B1に対して δ だけ移動したとき発生する2次結像面N2の位置変化に応じて3次結像面N3の位置を補正して変化させない様に、第3の光学素子B3を η だけ移動することにより、最終結像面Pの位置を変えずに焦点距離を変化

$$\begin{aligned}f_{\tau} &= f_1 * \beta_{\tau} = (f_1 * f_2 * f_3 * f_4) / (x_{2\tau} * x_{3\tau} * x_{4\tau}) \\ &= f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * (f_3^2 + x_{3\tau} * \eta) / \{(x_{2\tau} - \delta) * f_3^2 * x_{3\tau} * x_{4\tau}\}\end{aligned}\quad (20)$$

となる。

$$\begin{aligned}Z &= f_{\tau} / f_0 \\ &= x_{2\tau} * x_{3\tau} / (x_{2\tau} * x_{3\tau}) \\ &= x_{2\tau} * x_{3\tau} * (f_3^2 + x_{3\tau} * \eta) / \{(x_{2\tau} - \delta) * f_3^2 * x_{3\tau}\} \\ &= x_{2\tau} * (f_3^2 + x_{3\tau} * \eta) / \{(x_{2\tau} - \delta) * f_3^2\}\end{aligned}\quad (21)$$

となる。

【0167】本実施例は、以上のように各光学素子により光路を効果的に折りたたむ構成により光学系のZ方向

＊することが出来る。

【0160】図8(B)の望遠端の光学配置においては結像面Pを固定させた関係上、展開図においては本来固定であるはずの第1の光学素子B1が相対的に 2δ だけ移動した様に図示している。

【0161】第2の光学素子B2は第1の光学素子B1に対して δ だけ移動しているため、1次結像面N1から第2の光学素子B2の前側焦点 F_2 までの距離 $x_{2\tau}(-)$ は、

$$x_{2\tau} = x_{2\tau} - \delta\quad (13)$$

となる。

【0162】また、第3の光学素子B3は3次結像面N3に対して η だけ移動しているため、3次結像面N3から第3の光学素子B3の後側焦点 F_3' までの距離 $x_{3\tau}'$ は、

$$\begin{aligned}x_{3\tau}' &= x_{3\tau}' - \eta \\ &= -(f_3^2 / x_{3\tau} + \eta)\end{aligned}\quad (14)$$

となる。

【0163】さらに第2の光学素子B2の後側焦点 F_2' から第3の光学素子B3の前側焦点 F_3 までの距離 $x_{2\tau}' - x_{3\tau}$ は、撮影光学系の全長が 2δ 長くなっているため、

$$\begin{aligned}x_{2\tau}' - x_{3\tau} &= x_{2\tau}' - x_{3\tau} + \delta + \eta \\ &= -f_2^2 / x_{2\tau} - x_{3\tau} + \delta + \eta\end{aligned}\quad (15)$$

となる。

【0164】式(15)の $x_{2\tau}'$ と $x_{3\tau}$ は、式(13)、(14)を用いて、

$$\begin{aligned}x_{2\tau}' &= -f_2^2 / x_{2\tau} \\ &= -f_2^2 / (x_{2\tau} - \delta)\end{aligned}\quad (16)$$

$$\begin{aligned}x_{3\tau} &= -f_3^2 / x_{3\tau}' \\ &= (f_3^2 * x_{3\tau}) / (f_3^2 + x_{3\tau} * \eta)\end{aligned}\quad (17)$$

となるので、式(15)は、

$$\begin{aligned}&-f_2^2 / (x_{2\tau} - \delta) - (f_3^2 * x_{3\tau}) / (f_3^2 + x_{3\tau} * \eta) \\ &= -f_2^2 / x_{2\tau} - x_{3\tau} + \delta + \eta\end{aligned}\quad (18)$$

となり、式(18)から第2の光学素子B2の移動に対する第3の光学素子B3の移動関係を表現することが出来る。

【0165】また、本実施例における光学素子移動後の望遠端の焦点距離 f_{τ} は、第1の光学素子B1より像面側に配置された光学素子の合成倍率 β_{τ} が、

$$\begin{aligned}\beta_{\tau} &= \beta_{2\tau} * \beta_{3\tau} * \beta_4 \\ &= (f_2 / x_{2\tau}) * (f_3 / x_{3\tau}) * (f_4 / x_{4\tau}) \\ &= (f_2 * f_3 * f_4) / (x_{2\tau} * x_{3\tau} * x_{4\tau})\end{aligned}\quad (19)$$

と表わせるので、

※ ※ 【0166】これにより撮影光学系の変倍比Zは、

の長さを著しく短縮している。更に第3の光学素子B3の形状を第1の光学素子B1後方のデッドスペースを埋める様にしたことにより、全光学素子の配置に空間的な無駄

がない。

【0168】更に、変倍に際して第2の光学素子B2及び第3の光学素子B3をY軸方向に移動させる構成とすることにより、全ての変倍域について、Z軸方向の長さを小さいままにしておさえている。

【0169】なお、本実施例においては、第4の光学素子B4により射出する基準軸 $A_{0,0}$ の方向を入射する基準軸 $A_{0,0}$ の方向に対して90°曲げているが、射出する基準軸 $A_{0,0}$ の方向及び角度はこのように限定されるものではなく、例えば反射面を設けて紙面に対して垂直方向(X方向)に曲げて良い。

【0170】また、光学系に入射する基準軸 A_0 の方向も、例えば絞り B_4 の物体側に45°ミラー等を配置し、紙面に対して垂直から基準軸 A_0 を入射させても良い。

【0171】さらに本実施例では、第1の光学素子B1は変倍中固定なので、第1の光学素子B1と入射する基準軸を折り曲げる反射面をあらかじめ一体的に成形していても良い。

【0172】これからの実施例は全て構成データを添付*

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	13.0	9.8
垂直半面角	14.5	9.8	7.4
絞り径	2.0	3.0	4.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ (X × Y × Z) = 広角端において 5.6x 21.4x 32.9

i	Yi	Zi(W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1		絞り
第1光学素子							
2	0.00	2.74	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	8.74	25.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
4	-7.66	2.31	25.00	8.00	1.51633	64.15	反射面
5	-7.66	10.31	0.00	変数	1		屈折面
第2光学素子							
6	-7.66	17.14	0.00	8.50	1.51633	64.15	屈折面
7	-7.66	25.84	25.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
8	-15.32	19.21	25.00	8.00	1.51633	64.15	反射面
9	-15.32	27.21	0.00	変数	1		屈折面
10	-15.32	32.90	0.00	0.00	1		像面

【0177】

【外2】

* する。実施例5から実施例12までは実施例1と同様の二群構成のズームレンズであり、実施例13から実施例16までは3つの光学素子よりなる三群構成のズームレンズである。

【0173】これらの実施例において、光学系を構成する反射面は、紙面内の曲率と紙面に垂直な方向の曲率が異なる面であり、ミラー光学系のケラレを防ぐ為に、各反射鏡を偏心して配置することによって生じる偏心収差を補正している。

【0174】さらに、この反射面を回転非対称な面とすることにより、諸収差を良好に補正し、光学素子個々にて所望の光学性能を達成している。

【0175】〔実施例5〕図9は本発明の実施例5のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍のズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0176】

【外1】

25

26

	広角端	中間	望遠端
D 5	6.82	2.79	0.70
D 9	5.69	9.66	13.66

D 1 ~ 5面 $Z_i(M)=Z_i(W)+0.06$ $Z_i(T)=Z_i(W)-1.85$
 D 6 ~ 9面 $Z_i(M)=Z_i(W)-3.96$ $Z_i(T)=Z_i(W)-7.97$
 D10 面 $Z_i(M)=Z_i(W)$ $Z_i(T)=Z_i(W)$

球面形状

R 1 面 $R1= \infty$
 R 2 面 $R2= -18.881$
 R 5 面 $R5= -20.000$
 R 6 面 $R6= 20.000$
 R 9 面 $R9= -21.267$
 R10 面 $R10=\infty$

非球面形状

R 3 面 $a = -1.34677e+01$ $b = -4.11138e+01$ $t = 2.21286e+01$
 $C_{02}= 0.$ $C_{20}= 0.$
 $C_{03}= -1.50202e-04$ $C_{21}= -1.86036e-04$
 $C_{04}= -2.91075e-05$ $C_{22}= 3.12691e-05$ $C_{40}= -2.88791e-05$

R 4 面 $a = -3.30421e+00$ $b = 2.84464e+00$ $t = -3.10932e+01$
 $C_{02}= 0.$ $C_{20}= 0.$
 $C_{03}= 1.25682e-03$ $C_{21}= 5.54423e-04$
 $C_{04}= -1.86175e-04$ $C_{22}= 1.94371e-04$ $C_{40}= 1.48755e-04$

R 7 面 $a = 1.11832e+01$ $b = -7.18551e+00$ $t = -2.44560e+01$
 $C_{02}= 0.$ $C_{20}= 0.$
 $C_{03}= 7.66740e-04$ $C_{21}= 8.86240e-04$
 $C_{04}= 2.93867e-05$ $C_{22}= 4.93024e-05$ $C_{40}= -4.02913e-06$

R 8 面 $a = 2.55234e+01$ $b = -1.52536e+02$ $t = -3.00410e+01$
 $C_{02}= 0.$ $C_{20}= 0.$
 $C_{03}= 5.17718e-04$ $C_{21}= 5.48567e-04$
 $C_{04}= -2.62930e-05$ $C_{22}= -9.31187e-06$ $C_{40}= -2.01776e-05$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面、第2面R2から第5面R5、第6面R6から第9面R9は各々一体となった第1、第2の光学素子B1、B2、第10面R10は像面である。

【0178】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4で反射、第5面R5で屈折し、第1光学素子B1を射出する。このとき、第4面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0179】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第2光学素子B2を射出する。このとき、第2光学素子B2中の第7面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2を射出した光束は第10面R10（CCD等の撮像媒体の撮像面）上に最終的に結像する。

【0180】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。

【0181】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向って一旦Zプラス方向に移動した後、Zマイナス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向ってZマイナス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0182】図10、11、12は本実施例の横収差図である。これらの横収差図は本実施例への光束の入射角が夫々 (u_v, u_h) , $(0, u_h)$, $(-u_v, u_h)$, $(u_v, 0)$, $(0, 0)$, $(-u_v, 0)$

27

28

の6つの光束について、Y 方向及びX 方向の横収差を示している。なお、各横収差図の横軸は夫々第1面におけるY 方向、X 方向の入射光束の入射高さである。
【0183】図10は本実施例の広角端(W)の横収差図、図11は中間位置(M)の横収差図、図12は望遠端(T)の横収差図である。
【0184】本実施例では図から判るように各状態ともバランスの取れた収差補正が得られている。
【0185】又、本実施例は像サイズ4x3mmを前提として、光学系の長さ、幅、厚さの寸法が32.9x21.4x6.6mm程度となっており、コンパクトである。とりわけ本実施

* 例では各光学素子及び光学系全体の厚さが小さいこと、及び各光学素子を板状のブロックの側面に反射面を形成して構成できるので、1つの基板上に2つの光学素子を基板面に沿って移動する機構をとれば、全体として薄型のズームレンズを容易に構成することができる。
【0186】〔実施例6〕図13は本発明の実施例6のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍のズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。
【0187】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	13.0	9.8
垂直半面角	14.5	9.8	7.4
絞り径	2.0	3.0	4.0

像サイズ 水平4mm ×垂直3mm
光学系のサイズ (X ×Y ×Z) = 広角端において 8.0x 24.4x 28.0

i	Yi	Zi (W)	θi	Di	Ndi	νdi	
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1		絞り
第1光学素子							
2	0.00	2.74	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	8.74	25.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
4	-7.66	2.31	25.00	8.00	1.51633	64.15	反射面
5	-7.66	10.31	0.00	変数	1		屈折面
第2光学素子							
6	-7.66	17.80	0.00	7.00	1.51633	64.15	屈折面
7	-7.66	24.80	45.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
8	-17.66	24.80	45.00	7.00	1.51633	64.15	反射面
9	-17.66	17.80	0.00	変数	1		屈折面
10	-17.66	10.51	0.00	0.00	1		像面

【0188】

【外4】

	広角端	中間	望遠端
D 5	7.49	3.26	1.05
D 9	7.29	10.75	14.23

D 1 ~ 5面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 7.68$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 13.38$
D 6 ~ 9面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 3.46$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 6.94$
D10 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 1 面	$R1 = \infty$
R 2 面	$R2 = 35.606$
R 5 面	$R5 = -20.000$
R 6 面	$R6 = 89.388$
R 9 面	$R9 = -31.916$
R10 面	$R10 = \infty$

非球面形状

R 3 面	$a = -1.34677e+01$	$b = -4.11138e+01$	$t = 2.21286e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = -2.31569e-04$	$C_{21} = 5.03411e-04$	
	$C_{04} = 1.27221e-04$	$C_{22} = 9.41583e-05$	$C_{40} = -1.26848e-06$
R 4 面	$a = -2.31109e+00$	$b = 2.08891e+00$	$t = 1.56365e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = -1.20863e-03$	$C_{21} = 7.93176e-04$	
	$C_{04} = 1.71195e-04$	$C_{22} = 6.38568e-04$	$C_{40} = 1.28236e-03$
R 7 面	$a = 1.42789e+01$	$b = -8.21248e+00$	$t = -4.43130e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 7.10530e-04$	$C_{21} = 1.00559e-03$	
	$C_{04} = 2.28616e-05$	$C_{22} = 5.78746e-05$	$C_{40} = -2.08449e-05$
R 8 面	$a = 2.90886e+01$	$b = -1.49117e+02$	$t = -4.82601e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 3.59594e-04$	$C_{21} = 1.99532e-04$	
	$C_{04} = -2.18573e-06$	$C_{22} = -1.79136e-06$	$C_{40} = -1.09373e-05$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面、第2面R2から第5面R5、第6面R6から第9面R9は各々一体となった第1、第2の光学素子B1、B2、第10面R10は像面である。

【0189】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4で反射、第5面R5で屈折し、第1光学素子B1を射出する。このとき、第4面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0190】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第2光学素子B2を射出する。このとき、第2光学素子B2中の第7面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2を射出した光束は第10面R10（CCD等の撮像媒体の撮像面）上に最終的に結像する。

【0191】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。又、第2光学素子B2は実施例5と異なって、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。

【0192】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向ってZプラス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向ってZプラス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。本実施例は実施例5と比較して、第2の光学素子B2の入射・射出基準軸が逆向きなので、変倍範囲全体を比べると本実施例の方が実施例5よりコンパクトになっている。

【0193】図14、15、16は本実施例の横収差図

である。

* ータを記す。

【0194】〔実施例7〕図17は本発明の実施例7のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍のズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成デ*

【0195】

【外5】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	13.0	9.8
垂直半面角	14.5	9.8	7.4
絞り径	2.0	3.0	4.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ (X × Y × Z) = 広角端において 9.4x 22.9x 61.4

i	Yi	Zi (mm)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1	絞り

第1光学素子

2	0.00	2.74	0.00	6.00	1.51633	64.15 屈折面
3	0.00	8.74	45.00	10.00	1.51633	64.15 反射面
4	-10.00	8.74	45.00	8.00	1.51633	64.15 反射面
5	-10.00	0.74	0.00	変数	1	屈折面

第2光学素子

6	-10.00	-29.12	0.00	8.50	1.51633	64.15 屈折面
7	-10.00	-37.62	-25.00	10.00	1.51633	64.15 反射面
8	-17.66	-31.19	-25.00	8.00	1.51633	64.15 反射面
9	-17.66	-39.19	0.00	変数	1	屈折面
10	-17.66	-48.07	0.00	0.00	1	像面

【0196】

【外6】

33

34

	広角端	中間	望遠端
D 5	29.86	22.58	18.84
D 9	8.88	12.44	16.08

D 1 ~ 5面	Zi(M)=Zi(W)-3.71	Zi(T)=Zi(W)-3.82
D 6 ~ 9面	Zi(M)=Zi(W)+3.56	Zi(T)=Zi(W)+7.20
D10 面	Zi(M)=Zi(W)	Zi(T)=Zi(W)

球面形状

R 1 面	R1= ∞
R 2 面	R2= -18.881
R 5 面	R5= -20.000
R 6 面	R6= 20.000
R 9 面	R9= -21.267
R10 面	R10=∞

非球面形状

R 3 面	a = -6.67353e+00	b = 7.79065e+00	t = 2.02110e+00
	C ₀₂ = 0.	C ₂₀ = 0.	
	C ₀₃ = -3.95435e-04	C ₂₁ = -1.49104e-04	
	C ₀₄ = -9.70215e-06	C ₂₂ = -3.70464e-05	C ₄₀ = -2.27820e-05
R 4 面	a = 3.15397e+01	b = 7.47248e+01	t = 4.90324e+01
	C ₀₂ = 0.	C ₂₀ = 0.	
	C ₀₃ = -9.12121e-05	C ₂₁ = 1.62890e-04	
	C ₀₄ = 9.24276e-06	C ₂₂ = -3.10030e-05	C ₄₀ = -2.06901e-05
R 7 面	a = 1.24790e+01	b = -9.62671e+00	t = 2.34935e+00
	C ₀₂ = 0.	C ₂₀ = 0.	
	C ₀₃ = -1.13535e-04	C ₂₁ = -1.02319e-04	
	C ₀₄ = -6.38259e-06	C ₂₂ = -2.90197e-06	C ₄₀ = 8.19147e-08
R 8 面	a = 3.48639e+02	b = 4.91238e+01	t = -4.10204e+01
	C ₀₂ = 0.	C ₂₀ = 0.	
	C ₀₃ = 7.30891e-08	C ₂₁ = -4.50703e-05	
	C ₀₄ = -1.95562e-05	C ₂₂ = -3.38641e-05	C ₄₀ = -2.11694e-05

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面、第2面R2から第5面R5、第6面R6から第9面R9は各々一体となった第1、第2の光学素子B1、B2、第10面R10は像面である。

【0197】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4で反射、第5面R5で屈折し、第1光学素子B1を射出する。このとき、第5面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0198】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第2光学素子B2を射出する。このとき、第7面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2を射出した光束は第10面R10（CCD等の撮像媒体の撮像面）上に最終的に結像する。

【0199】本実施例では第1光学素子B1は、入射する

基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。

【0200】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向ってZマイナス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向ってZプラス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0201】図18、19、20は本実施例の横収差図である。

【0202】〔実施例8〕図21は本発明の実施例8のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍のズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成デ

ータを記す。
【0203】

	＊【外7】		
	＊		
	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	13.0	9.8
垂直半面角	14.5	9.8	7.4
絞り径	2.0	3.0	4.0

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm
光学系のサイズ (X × Y × Z) = 広角端において 6.6x 25.4x 38.3

i	Yi	Zi(W)	θi	Di	Ndi	νdi
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1	絞り

第1光学素子

2	0.00	2.74	0.00	6.00	1.51633	64.15 屈折面
3	0.00	8.74	45.00	10.00	1.51633	64.15 反射面
4	-10.00	8.74	45.00	8.00	1.51633	64.15 反射面
5	-10.00	0.74	0.00	変数	1	屈折面

第2光学素子

6	-10.00	-15.27	0.00	8.50	1.51633	64.15 屈折面
7	-10.00	-23.77	45.00	10.00	1.51633	64.15 反射面
8	-20.00	-23.77	45.00	8.00	1.51633	64.15 反射面
9	-20.00	-15.77	0.00	変数	1	屈折面

10	-20.00	-8.87	0.00	0.00	1	像面
----	--------	-------	------	------	---	----

【0204】

【外8】

37

38

	広角端	中間	望遠端
D 5	16.01	9.40	6.10
D 9	6.90	10.49	14.10

D 1 ~ 5面	$Z_i(M)=Z_i(W)-10.20$	$Z_i(T)=Z_i(W)-17.11$
D 6 ~ 9面	$Z_i(M)=Z_i(W)-3.59$	$Z_i(T)=Z_i(W)-7.20$
D10 面	$Z_i(M)=Z_i(W)$	$Z_i(T)=Z_i(W)$

球面形状

R 1 面	$R1=\infty$
R 2 面	$R2=13.302$
R 5 面	$R5=-20.000$
R 6 面	$R6=20.000$
R 9 面	$R9=-18.886$
R10 面	$R10=\infty$

非球面形状

R 3 面	$a=-1.38265e+01$	$b=2.99760e+01$	$t=3.24111e+01$
	$C_{02}=0.$	$C_{20}=0.$	
	$C_{03}=5.24667e-05$	$C_{21}=6.24839e-04$	
	$C_{04}=3.94622e-06$	$C_{22}=3.14394e-05$	$C_{40}=3.57024e-05$
R 4 面	$a=-1.02695e+01$	$b=6.35702e+00$	$t=4.101336e+01$
	$C_{02}=0.$	$C_{20}=0.$	
	$C_{03}=-8.68140e-04$	$C_{21}=-9.61122e-05$	
	$C_{04}=-1.54916e-04$	$C_{22}=-1.53251e-04$	$C_{40}=-7.70985e-05$
R 7 面	$a=9.91952e+00$	$b=-7.60901e+00$	$t=4.08306e+01$
	$C_{02}=0.$	$C_{20}=0.$	
	$C_{03}=-4.25157e-04$	$C_{21}=-5.94574e-04$	
	$C_{04}=2.16100e-05$	$C_{22}=3.66328e-05$	$C_{40}=8.09379e-07$
R 8 面	$a=2.71963e+01$	$b=-1.17872e+02$	$t=-3.07167e+02$
	$C_{02}=0.$	$C_{20}=0.$	
	$C_{03}=7.31990e-05$	$C_{21}=1.14069e-04$	
	$C_{04}=-1.11662e-05$	$C_{22}=-1.95630e-05$	$C_{40}=-1.35460e-05$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面、第2面R2から第5面R5、第6面R6から第9面R9は各々一体となった第1、第2の光学素子B1、B2、第10面R10は像面である。

【0205】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1に入射する。第1光学素子B1では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4で反射、第5面R5で屈折し、第1光学素子B1を射出する。このとき、第4面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0206】次に光束は第2光学素子B2に入射する。第2光学素子B2では第6面R6で屈折、第7面R7、第8面R8で反射、第9面R9で屈折し、第2光学素子B2を射出する。このとき、第7面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2を射出した光束は第10面R10（CCD等の撮像媒体の撮像面）上に最終的に結像する。

【0207】本実施例では第1光学素子B1は、入射する

基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。

【0208】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向ってZマイナス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向ってZマイナス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0209】図22、23、24は本実施例の横収差図である。

【0210】実施例9～12は実施例5～8と同様に二群型のズームレンズであるが、これまでのものでは各光学素子を透明プラスチック、ガラス等のブロックの表

面に曲面反射面等を形成し、物体からの光線がこのブロックの中を反射を繰り返して透過していた。しかし以下の実施例 9 ～ 1 2 では各群を構成する偏心反射面はいずれもプラスチック、ガラス、金属等の表面鏡であり、各群を構成する夫々 2 つの表面鏡を光路外で繋いで一体化している。

*【0 2 1 1】[実施例 9] 図 2 5 は本発明の実施例 9 の YZ 内での光学断面図である。本実施例は変倍比約 1.5 倍の二群ズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0 2 1 2】

【外 9】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	16.5	13.0
垂直半面角	14.5	11.7	9.8
絞り径	1.5	1.8	2.2

像サイズ 水平 4mm × 垂直 3mm

光学系のサイズ (X × Y × Z) = 広角端において 13.2x 21.5x 32.1

i	Yi	Zi (W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1		絞り
第 1 光学素子							
2	0.00	8.74	25.00	10.00	1		反射面
3	-7.68	2.31	25.00	変数	1		反射面
第 2 光学素子							
4	-7.68	25.50	25.00	10.00	1		反射面
5	-15.32	19.07	25.00	変数	1		反射面
6	-15.32	32.07	0.00	0.00	1		像面

【0 2 1 3】

【外 1 0】

41

	広角端	中間	望遠端
D 3	23.19	19.63	17.15
D 5	13.00	14.74	16.59

D 1 ~ 3面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 1.81$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 2.44$
D 4 ~ 5面	$Z_i(M) = Z_i(W) - 1.74$	$Z_i(T) = Z_i(W) - 3.59$
D 6 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 1 面 $R_1 = \infty$
 R 6 面 $R_6 = \infty$

非球面形状

R 2 面	$a = -2.59864e+02$	$b = -7.87075e+00$	$t = -3.10132e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 5.91346e-04$	$C_{21} = -2.93517e-03$	
	$C_{04} = 6.17346e-05$	$C_{22} = -2.82803e-04$	$C_{40} = -1.43423e-04$
R 3 面	$a = 1.60603e+01$	$b = 1.41145e+02$	$t = 4.51434e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 8.20375e-05$	$C_{21} = 2.14115e-03$	
	$C_{04} = -3.00603e-05$	$C_{22} = 8.38013e-04$	$C_{40} = -3.06131e-04$
R 4 面	$a = -1.86291e+02$	$b = -1.76943e+01$	$t = 2.42099e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 1.17485e-04$	$C_{21} = 3.75999e-04$	
	$C_{04} = 2.20557e-05$	$C_{22} = 3.87815e-06$	$C_{40} = 4.07058e-06$
R 5 面	$a = -2.08325e+01$	$b = 1.04872e+01$	$t = 2.05417e+01$
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 2.49839e-04$	$C_{21} = 1.43001e-03$	
	$C_{04} = 1.12443e-05$	$C_{22} = -1.02575e-04$	$C_{40} = -1.99974e-05$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。反射面である第2面R2と第3面R3、第4面R4と第5面R5は各々その表面鏡の側面を連結して一体となり、第1、第2の光学素子B1、B2を形成している。第6面R6は像面である。

【0214】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1の部分に入る。ここでは第2面R2、第3面R3で反射し、第1光学素子B1の部分を出る。このとき、第3面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0215】次に光束は第2光学素子B2の部分に入る。ここでは第4面R4、第5面R5で反射し、第2光学素子B2の部分を出る。このとき、第4面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2の部分を出た光束は第6面R6(CCD等の撮像媒体の撮像面)上に最終的に結像する。

【0216】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同

一方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。

【0217】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZマイナス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0218】図26、27、28は本実施例の横収差図である。

【0219】[実施例10]図29は本発明の実施例10のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約1.5倍の二群ズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0220】

42

【外11】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	16.5	13.0
垂直半面角	14.5	11.7	9.8
絞り径	1.5	1.8	2.2

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)＝広角端において 13.6x 27.0x 30.4

i	Yi	Zi(W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1	絞り

第1光学素子

2	0.00	8.74	25.00	10.00	1	反射面
3	-7.66	2.31	25.00	変数	1	反射面

第2光学素子

4	-7.66	26.21	45.00	12.00	1	反射面
5	-19.66	26.21	45.00	変数	1	反射面
6	-19.66	13.21	0.00	0.00	1	像面

【0221】

【外12】

45

46

	広角端	中間	望遠端
D 3	23.89	20.30	17.62
D 5	13.00	14.61	16.44

D 1 ~ 3面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 5.20$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 9.71$
D 4 ~ 5面	$Z_i(M) = Z_i(W) + 1.61$	$Z_i(T) = Z_i(W) + 3.44$
D 6 面	$Z_i(M) = Z_i(W)$	$Z_i(T) = Z_i(W)$

球面形状

R 1 面 $R 1 = \infty$
 R 6 面 $R 6 = \infty$

非球面形状

R 2 面	a = -7.32966e+01	b = -9.51142e+00	t = -3.70087e+01
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = -3.98870e-04$	$C_{21} = 8.34713e-04$	
	$C_{04} = 1.15028e-04$	$C_{22} = -1.65925e-05$	$C_{40} = 1.17016e-05$
R 3 面	a = 5.69699e+01	b = 2.41277e+01	t = -4.35565e+01
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 1.29196e-04$	$C_{21} = 3.82727e-03$	
	$C_{04} = 1.39986e-04$	$C_{22} = 1.58164e-04$	$C_{40} = 7.40783e-05$
R 4 面	a = -4.79501e+02	b = -1.86763e+01	t = 4.98014e+01
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = -1.99399e-04$	$C_{21} = -4.93360e-04$	
	$C_{04} = 2.88484e-06$	$C_{22} = -4.10330e-06$	$C_{40} = 8.35173e-06$
R 5 面	a = -2.75382e+03	b = 1.79616e+01	t = 3.20821e+01
	$C_{02} = 0.$	$C_{20} = 0.$	
	$C_{03} = 3.86551e-04$	$C_{21} = 5.20330e-04$	
	$C_{04} = 1.12591e-05$	$C_{22} = -1.72743e-05$	$C_{40} = 7.83047e-06$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。反射面である第2面R2と第3面R3は各々その表面鏡の側面を連結して一体となり、第1の光学素子B1を形成している。又反射面である第4面R4と第5面R5は一体の第2の光学素子B2の上に形成している。第6面R6は像面である。

【0222】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1の部分に入る。第1光学素子B1では第2面R2、第3面R3で反射し、第1光学素子B1の部分を出る。このとき、第3面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0223】次に光束は第2光学素子B2の部分に入る。第2光学素子B2では第4面R4、第5面R5で反射し、第2光学素子B2の部分を出る。このとき、第4面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2の部分を出た光束は第6面R6(CCD等の撮像媒体の撮像面)上に最終的に結像する。

【0224】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。

【0225】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0226】図30、31、32は本実施例の横収差図である。

【0227】【実施例11】図33は本発明の実施例11のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約1.5倍の二群ズームレンズの撮像光学系である。以下に

その構成データを記す。
【0228】

*【外13】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	15.5	13.0
垂直半面角	14.5	11.7	9.8
絞り径	1.5	1.9	2.2

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)=広角端において 11.6x 24.6x 46.0

i	Yi	Zi (W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1	絞り

第1光学素子

2	0.00	8.74	45.00	12.00	1	反射面
3	-12.00	8.74	45.00	変数	1	反射面

第2光学素子

4	-12.00	-26.43	25.00	10.00	1	反射面
5	-19.66	-20.00	25.00	変数	1	反射面

6	-19.66	-33.00	0.00	0.00	1	像面
---	--------	--------	------	------	---	----

	広角端	中間	望遠端
D 3	35.17	30.33	27.18
D 5	13.00	14.69	16.39

D 1 ~ 3面 $Z_i(M)=Z_i(W)-3.14$ $Z_i(T)=Z_i(W)-4.60$

D 4 ~ 5面 $Z_i(M)=Z_i(W)+1.89$ $Z_i(T)=Z_i(W)+3.39$

D 6 面 $Z_i(M)=Z_i(W)$ $Z_i(T)=Z_i(W)$

球面形状

R 1 面 R 1= ∞

R 6 面 R 6= ∞

【0229】

【外14】

非球面形状

R 2 面 $a = 2.47149e+01$ $b = -9.14502e+00$ $t = 9.21754e-01$

$C_{02} = 0.$ $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -5.13200e-04$ $C_{21} = 1.92296e-03$

$C_{04} = -4.03069e-05$ $C_{22} = 1.76049e-04$ $C_{40} = 3.06636e-04$

R 3 面 $a = 5.87463e+01$ $b = 1.86088e+01$ $t = 6.15169e+01$

$C_{02} = 0.$ $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -2.89808e-05$ $C_{21} = -2.02543e-04$

$C_{04} = -4.32883e-05$ $C_{22} = 6.17232e-05$ $C_{40} = -1.85875e-04$

R 4 面 $a = -3.97374e+01$ $b = -2.86784e+01$ $t = 2.13848e+01$

$C_{02} = 0.$ $C_{20} = 0.$

$C_{03} = -1.27524e-05$ $C_{21} = -3.53558e-05$

$C_{04} = -1.29314e-06$ $C_{22} = -3.56795e-05$ $C_{40} = 3.20379e-06$

R 5 面 $a = 2.42672e+01$ $b = -1.08103e+02$ $t = 5.08828e+01$

$C_{02} = 0.$ $C_{20} = 0.$

$C_{03} = 4.41590e-04$ $C_{21} = -2.61556e-04$

$C_{04} = 2.97724e-06$ $C_{22} = -3.79471e-05$ $C_{40} = 5.76230e-05$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。反射面である第2面R2と第3面R3は第1の光学素子B1の上に形成している。反射面である第4面R4と第5面R5は各々その表面鏡の側面を連結して一体となり、第2

の光学素子B2を形成している。又第6面R6は像面である。

【0230】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1の部分に入る。ここでは第2面R2、第3面R3で反射し、第1光学素子B1の部分を出る。このとき、第3面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0231】次に光束は第2光学素子B2の部分に入る。ここでは第4面R4、第5面R5で反射し、第2光学素子B2の部分を出る。このとき、第4面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2の部分を出た光束は第6面R6(CCD等の撮像媒体の撮像面)上に最終的に結像する。

【0232】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基

準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ同一方向になっている。

【0233】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向ってZマイナス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向ってZプラス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0234】図34、35、36は本実施例の横収差図である。

【0235】[実施例12] 図37は本発明の実施例12のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約1.5倍の二群ズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0236】

【外15】

51

52

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	19.1	15.5	13.0
垂直半面角	14.5	11.7	9.8
絞り径	1.5	1.9	2.2

像サイズ 水平4mm × 垂直3mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)=広角端において 8.2x 28.1x 42.0

i	Yi	Zi(W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}
1	0.00	0.00	0.00	2.74	1	絞り

第1光学素子

2	0.00	8.74	45.00	12.00	1	反射面
3	-12.00	8.74	45.00	変数	1	反射面

第2光学素子

4	-12.00	-25.97	45.00	10.00	1	反射面
5	-22.00	-25.97	45.00	変数	1	反射面

6	-22.00	-12.97	0.00	0.00	1	像面
---	--------	--------	------	------	---	----

	広角端	中間	望遠端
D 3	34.71	29.12	25.68
D 5	13.00	14.42	15.83

D 1 ~ 3面 $Zi(M)=Zi(W)-7.01$ $Zi(T)=Zi(W)-11.86$ D 4 ~ 5面 $Zi(M)=Zi(W)-1.42$ $Zi(T)=Zi(W)-2.83$ D 6 面 $Zi(M)=Zi(W)$ $Zi(T)=Zi(W)$

球面形状

R 1 面 R 1=∞

R 6 面 R 6=∞

{0237}

{外16}

R 2 面 a = -2.98091e+02 b = -1.25116e+01 t = -3.22288e+01

$C_{02} = 0.$

$C_{20} = 0.$

$C_{03} = -6.41930e-04$ $C_{21} = 1.35323e-05$

$C_{04} = -1.62835e-05$ $C_{22} = 6.79248e-05$ $C_{40} = 3.50376e-06$

R 3 面 a = 4.88259e+02 b = 1.73371e+01 t = 3.87170e+01

$C_{02} = 0.$

$C_{20} = 0.$

$C_{03} = -2.42094e-04$ $C_{21} = 7.00094e-05$

$C_{04} = -3.43767e-05$ $C_{22} = 4.19720e-05$ $C_{40} = -6.81038e-05$

R 4 面 a = -5.16839e+01 b = -3.34488e+01 t = 3.15288e+01

$C_{02} = 0.$

$C_{20} = 0.$

$C_{03} = 4.95963e-05$ $C_{21} = 3.61954e-04$

$C_{04} = 9.13275e-06$ $C_{22} = 5.58245e-05$ $C_{40} = 2.28780e-05$

R 5 面 a = 2.06473e+01 b = -2.56460e+02 t = 6.09634e+01

$C_{02} = 0.$

$C_{20} = 0.$

$C_{03} = 2.58862e-04$ $C_{21} = 4.12449e-04$

$C_{04} = -1.87665e-06$ $C_{22} = 2.35916e-05$ $C_{40} = 2.75677e-06$

本実施例において、第1面R1は入射瞳である絞り面である。第2面R2と第3面R3及び第4面R4と第5面R5は夫々第1、第2の光学素子B1、B2の上に形成した表面鏡である。又第6面R6は像面である。

【0238】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1光学素子B1の部分に入る。ここでは第2面R2、第3面R3で反射し、第1光学素子B1の部分を出る。このとき、第3面近傍の中間結像面に1次結像する。

【0239】次に光束は第2光学素子B2の部分に入る。ここでは第4面R4、第5面R5で反射し、第2光学素子B2の部分を出る。このとき、第4面近傍に瞳を形成している。そして、第2光学素子B2を射出した光束は第6面R6(CCD等の撮像媒体の撮像面)上に最終的に結像する。

【0240】本実施例では第1光学素子B1は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。又、第2光学素子B2は、入射する基準軸の方向と射出する基準軸の方向とが平行でかつ逆方向になっている。

【0241】次に、各光学素子の移動による変倍作用について説明する。変倍に際して第1光学素子B1は広角端から望遠端に向かってZマイナス方向に移動する。第2光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZマイナス方向に移動する。像面である第10面R10は変倍に際して移動しない。そして、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1光学素子B1と第2光学素子B2との間隔は狭まり、第2光学素子B2と像面R10との間は広がる。

【0242】図38、39、40は本実施例の横収差図である。

【0243】実施例13～16は所謂三群ズームレンズの実施例である。

【0244】〔実施例13〕図41は本発明の実施例13のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。又、図42は本実施例の斜視図である。以下にその構成データを記す。

【0245】

【外17】

55

56

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	26.0	20.1	13.7
垂直半面角	20.0	15.3	10.3
絞り径	2.0	2.5	3.0

像サイズ 水平8mm × 垂直6mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)=広角端において 11.4x 37.0x 65.8

i	Yi	Zi(W)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	5.00	1		絞り

第1光学素子

2	0.00	5.00	0.00	5.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	10.00	28.00	8.94	1.51633	64.15	反射面
4	-7.41	5.00	0.00	14.00	1.51633	64.15	全反射面
5	-19.02	12.83	0.00	8.94	1.51633	64.15	全反射面
6	-26.43	7.83	28.00	5.00	1.51633	64.15	反射面
7	-26.43	12.83	0.00	変数	1		屈折面

第2光学素子

8	-26.43	22.23	0.00	5.00	1.51633	64.15	屈折面
9	-26.43	27.23	-28.00	8.94	1.51633	64.15	反射面
10	-19.02	22.23	0.00	14.00	1.51633	64.15	全反射面
11	-7.41	30.06	0.00	8.94	1.51633	64.15	全反射面
12	0.00	25.06	-28.00	5.00	1.51633	64.15	反射面
13	0.00	30.06	0.00	変数	1		屈折面

第3光学素子

14	-0.00	45.61	0.00	5.00	1.51633	64.15	屈折面
15	-0.00	50.61	28.00	8.94	1.51633	64.15	反射面
16	-7.41	45.61	0.00	14.00	1.51633	64.15	全反射面
17	-19.02	53.44	0.00	8.94	1.51633	64.15	全反射面
18	-26.43	48.44	28.00	5.00	1.51633	64.15	反射面
19	-26.43	53.44	0.00	変数	1		屈折面
20	-26.43	65.84	0.00	0.00	1		像面

【0246】

【外18】

	広角端	中間	望遠端	
		57		[0 2 4 7]
D 7	9.40	11.15	8.46	[外 1 9]
D13	15.55	8.58	2.43	
D19	12.40	17.63	26.47	

D 1 ~ 7面	$Zi(M)=Zi(W)$	$Zi(T)=Zi(W)$	
D 8 ~13面	$Zi(M)=Zi(W)+1.75$	$Zi(T)=Zi(W)-0.94$	
D14 ~27面	$Zi(M)=Zi(W)-5.22$	$Zi(T)=Zi(W)-14.06$	
D20 面	$Zi(M)=Zi(W)$	$Zi(T)=Zi(W)$	10

球面形状

R 1 面	$R1=\infty$	
R 2 面	$R2=\infty$	
R 4 面	$R4=\infty$	
R 5 面	$R5=\infty$	
R 7 面	$R7=\infty$	
R 8 面	$R8=\infty$	20
R10 面	$R10=\infty$	
R11 面	$R11=\infty$	
R13 面	$R13=\infty$	
R14 面	$R14=\infty$	
R16 面	$R16=\infty$	
R17 面	$R17=\infty$	
R19 面	$R19=\infty$	
R20 面	$R20=\infty$	30

非球面形状

R 3 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ =1.71821e-02	C ₂₀ = -2.64466e-02	
	C ₀₃ =-1.10859e-04	C ₂₁ =-3.08647e-06	
	C ₀₄ =-7.44756e-06	C ₂₂ =-8.73792e-05	C ₄₀ =-7.07245e-06
R 6 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 9.25173e-03	C ₂₀ = 1.06374e-02	
	C ₀₃ = 1.06641e-04	C ₂₁ =-1.75379e-04	
	C ₀₄ = 1.00577e-07	C ₂₂ =-7.09789e-06	C ₄₀ =-1.11339e-05
R 9 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ =-9.25352e-03	C ₂₀ =-7.71705e-03	
	C ₀₃ =-1.27415e-04	C ₂₁ = 2.24577e-04	
	C ₀₄ =-2.04074e-06	C ₂₂ = 9.85041e-06	C ₄₀ =-4.54405e-06
R12 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 1.07705e-02	C ₂₀ = 2.85032e-03	
	C ₀₃ = 6.49026e-06	C ₂₁ =-4.04876e-04	
	C ₀₄ = 1.78001e-05	C ₂₂ =-3.44175e-06	C ₄₀ = 2.28114e-06
R15 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ =-6.89123e-03	C ₂₀ =-8.83606e-03	
	C ₀₃ = 2.19277e-05	C ₂₁ = 9.35962e-05	
	C ₀₄ =-4.51558e-07	C ₂₂ =-3.39663e-06	C ₄₀ = 5.46067e-06
R18 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 8.38005e-03	C ₂₀ = 1.59192e-02	
	C ₀₃ =-2.38916e-06	C ₂₁ =-7.12086e-04	
	C ₀₄ =-2.19374e-06	C ₂₂ = 1.69386e-05	C ₄₀ = 5.50667e-06

図4 1において、第1面は入射瞳である絞り面R1であり、第2面R2～第7面R7、第8面R8～第13面R13、第14面R14～第19面R19は各々一体となった第1、第2、第3の光学素子であり、第20面R20は像面である。

【0248】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1の光学素子B1に入射する。第1の光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3で反射、第4面R4、第5面R5で全反射、第6面R6で反射、第7面R7で屈折し、第1の光学素子B1を射出する。ここで第2面R2と第4面R4は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。第5面R5と第7面R7も同様である。また、光束は第4面R4と第5面R5の間で中間結像する。

【0249】次に光束は第2の光学素子B2に入射する。第2の光学素子B2内では第8面R8で屈折、第9面R9で反射、第10面R10、第11面R11で全反射、第12面R12で反射、第13面R13で屈折し、第2の光学素子B2を

射出する。ここで第8面R8と第10面R10は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。第11面R11と第13面R13も同様である。また、光束は第12面近傍で中間結像する。

【0250】次に光束は第3の光学素子B3に入射する。第3の光学素子B3内では第14面R14で屈折、第15面R15で反射、第16面R16、第17面R17で全反射、第18面R18で反射、第19面R19で屈折し、第3の光学素子B3を射出する。ここで第14面R14と第16面R16は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。第17面R17と第19面R19も同様である。また、光束は第16面R16と第17面R17の間で中間結像する。

【0251】最後に第3の光学素子B3を射出した光束は最終結像面第20面R20（CCD等の撮像媒体の撮像面）上に結像する。

【0252】次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1の光学素子B1は固定であり動かない。第2の光学素子B2は広角端から望遠

61

端に向ってZ プラス方向に凸の軌跡で前後移動する。第3の光学素子B3は広角端から望遠端に向ってZ マイナス方向に移動する。像面である第2 0面R20 は変倍に際して移動しない。

【0253】なお、広角端から望遠端に向っての変倍に際して第1面R1から像面R20 までの全系の光路長は一定である。

【0254】本実施例においては3つの光学素子の入射・射出基準軸が夫々平行でしかも同方向である。

【0255】図43、44、45は本実施例の横収差図である。本実施例では図からわかるように各焦点距離においてバランスのとれた収差補正が得られている。

【0256】又、本実施例は像サイズ8x6mm を前提として、光学系の長さ、幅、厚さの寸法が約65.8x37x11.4mm*

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	28.0	20.1	13.7
垂直半面角	20.0	15.3	10.3
絞り径	2.0	2.5	3.0

像サイズ 水平8mm × 垂直6mm

光学系のサイズ(X×Y ×Z) = 広角端において 11.8x 57.7x 53.1

i	Yi	Zi (mm)	θ_i	Di	Ndi	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	5.00	1		絞り

第1 光学素子

2	0.00	5.00	0.00	5.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	10.00	28.00	8.94	1.51633	64.15	反射面
4	-7.41	5.00	0.00	14.00	1.51633	64.15	全反射面
5	-19.02	12.83	0.00	8.94	1.51633	64.15	全反射面
6	-26.43	7.83	28.00	5.00	1.51633	64.15	反射面
7	-26.43	12.83	0.00	変数	1		屈折面

第2 光学素子B2

8	-26.43	18.39	0.00	5.00	1.51633	64.15	屈折面
9	-26.43	23.39	-28.00	8.94	1.51633	64.15	反射面
10	-19.02	18.39	0.00	14.00	1.51633	64.15	全反射面
11	-7.41	26.22	0.00	8.94	1.51633	64.15	全反射面
12	0.00	21.22	-28.00	5.00	1.51633	64.15	反射面
13	0.00	26.22	0.00	変数	1		屈折面

第3 光学素子B3

14	-0.00	42.19	0.00	7.00	1.51633	64.15	屈折面
15	-0.00	49.19	-28.00	12.52	1.51633	64.15	反射面
16	10.38	42.19	0.00	12.52	1.51633	64.15	全反射面
17	20.76	49.19	28.00	7.00	1.51633	64.15	反射面
18	20.76	42.19	0.00	変数	1		屈折面
19	20.76	30.28	0.00	0.00	1		屈折面

【0259】

【外21】

62

* 程度となっている。これまでの実施例と同じく、光学系の厚さが小さいこと、及び図42に示すように各反射面を板状のブロックの側面に形成した光学素子として構成できるので、1つの基板上に3つの光学素子をマウントし、そのうちの2つの光学素子を基板面に沿って移動する構成をとれば、全体として薄型のズームレンズを容易に構成することができる。

【0257】〔実施例14〕図46は本発明の実施例14のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0258】

【外20】

(33)

特開平 8 - 2 9 2 3 7 2

64

63

	広角端	中間	望遠端	
D 7	5.56	14.76	30.43	[0 2 6 0]
D13	15.98	10.88	5.31	[外 2 2]
D18	11.91	16.01	26.12	

D 1 ~ 7面	$Z_i(M)=Z_i(W)$	$Z_i(T)=Z_i(W)$
D 8 ~13面	$Z_i(M)=Z_i(W)+9.20$	$Z_i(T)=Z_i(W)+24.87$
D14 ~18面	$Z_i(M)=Z_i(W)+4.10$	$Z_i(T)=Z_i(W)+14.21$
D19 面	$Z_i(M)=Z_i(W)$	$Z_i(T)=Z_i(W)$

10

球面形状

R 1 面	$R1= \infty$
R 2 面	$R2= \infty$
R 4 面	$R4= \infty$
R 5 面	$R5= \infty$
R 7 面	$R7= \infty$
R 8 面	$R8= \infty$
R10 面	$R10=\infty$
R11 面	$R11=\infty$
R13 面	$R13=\infty$
R14 面	$R14=\infty$
R16 面	$R16=\infty$
R18 面	$R18=\infty$
R19 面	$R19=\infty$

20

非球面形状

R 3 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -1.87643e-02	C ₂₀ = -3.34111e-02	
	C ₀₃ = 1.42969e-05	C ₂₁ = -3.38035e-04	
	C ₀₄ = -1.49633e-05	C ₂₂ = -1.70482e-05	C ₄₀ = -2.85715e-05
R 6 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 1.03027e-02	C ₂₀ = 1.02387e-02	
	C ₀₃ = 1.15021e-04	C ₂₁ = 1.51064e-04	
	C ₀₄ = 8.03984e-07	C ₂₂ = 1.48807e-05	C ₄₀ = 1.18655e-06
R 9 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -7.36823e-03	C ₂₀ = -6.07848e-03	
	C ₀₃ = -9.76247e-05	C ₂₁ = -6.77552e-05	
	C ₀₄ = -1.94029e-07	C ₂₂ = -1.34043e-07	C ₄₀ = -1.60895e-07
R12 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 1.57404e-02	C ₂₀ = 2.44694e-03	
	C ₀₃ = -7.66458e-06	C ₂₁ = 5.12655e-04	
	C ₀₄ = 4.46711e-06	C ₂₂ = 2.53773e-06	C ₄₀ = 1.17538e-06
R15 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -7.52814e-03	C ₂₀ = -6.13092e-03	
	C ₀₃ = 2.44469e-05	C ₂₁ = -7.04107e-04	
	C ₀₄ = 4.29594e-06	C ₂₂ = 4.27184e-05	C ₄₀ = 9.99696e-05
R17 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -7.43703e-03	C ₂₀ = -1.85311e-02	
	C ₀₃ = 1.19422e-05	C ₂₁ = 3.37547e-05	
	C ₀₄ = 1.54082e-06	C ₂₂ = -7.40920e-06	C ₄₀ = 1.36401e-06

図4 6において、第1面は入射瞳である絞り面R1であり、第2面R2～第7面R7、第8面R8～第13面R13、第14面R14～第18面R18は各々一体となった第1、第2、第3の光学素子であり、第9面R19は像面である。

【0261】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1の光学素子B1に入射する。第1の光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3で反射、第4面R4、第5面R5で全反射、第6面R6で反射、第7面R7で屈折し、第1の光学素子B1を射出する。ここで第2面R2と第4面R4は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。第5面R5と第7面R7も同様である。また、光束は第4面R4と第5面R5の間で中間結像する。

【0262】次に光束は第2の光学素子B2に入射する。第2の光学素子B2内では第8面R8で屈折、第9面R9で反射、第10面R10、第11面R11で全反射、第12面R12で反射、第13面R13で屈折し、第2の光学素子B2を

射出する。ここで第8面R8と第10面R10は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。第11面R11と第13面R13も同様である。また、光束は第12面近傍において中間結像する。又、光束は第2の光学素子B2と第3の光学素子B3との間で瞳を形成する。

【0263】次に光束は第3の光学素子B3に入射する。第3の光学素子B3内では第14面R14で屈折、第15面R15で反射、第16面R16で全反射、第17面R17で反射、第18面R18で屈折し、第3の光学素子B3を射出する。ここで第14面R14、第16面R16、第18面R18は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。

【0264】最後に第3の光学素子B3を射出した光束は最終結像面第9面R19 (CCD等の撮像媒体の撮像面)上に結像する。

【0265】次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1の光学素子B1は固定であり動かない。第2の光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第3の光学素子B3

は広角端から望遠端に向かってZ プラス方向に移動する。
像面である第19面は変倍に際して移動しない。

【0266】ここで、広角端から望遠端に向っての変倍によって第1の光学素子B1と第2の光学素子B2との間隔は広がり、第2の光学素子B2と第3の光学素子B3との間隔は狭まり、第3の光学素子B3と像面R19 との間は広がる。また、広角端から望遠端に向って第1面R1から像面R19 間での全系の光路長は長くなるよう変化している。

【0267】本実施例においては第1の光学素子B1の入射・射出基準軸は平行で逆方向に向いており、第2、第3

*3の光学素子B2,B3 の入射・射出基準軸は共に平行で同方向である。

【0268】図47、48、49は本実施例の横収差図である。

【0269】[実施例15] 図50は本発明の実施例15のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。以下にその構成データを記す。

【0270】

【外23】

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	14.0	10.6	7.1
垂直半面角	10.6	8.0	5.3
絞り径	2.0	3.0	4.0

像サイズ 水平 4.8mm×垂直3.8mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)=広角端において 12.0x 58.4x 30.3

i	Yi	Zi(W)	θi	Di	Ndi	νdi	
1	0.00	0.00	0.00	変数	1		絞り

第1光学素子

2	0.00	3.00	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	9.00	28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
4	-8.90	3.00	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
5	-17.79	9.00	-28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
6	-17.79	3.00	0.00	変数	1		屈折面

第2光学素子

7	-17.79	-10.58	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
8	-17.79	-18.58	-28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
9	-26.69	-10.58	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
10	-35.58	-16.58	28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
11	-35.58	-10.58	0.00	変数	1		屈折面

第3光学素子

12	-35.58	-0.24	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
13	-35.58	5.76	28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
14	-44.48	-0.24	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
15	-53.37	5.76	-28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
16	-53.37	-0.24	0.00	変数	1		屈折面

17	-53.37	-5.09	0.00	0.00	1		像面
----	--------	-------	------	------	---	--	----

【0271】

【外24】

(36)

特開平 8 - 2 9 2 3 7 2

70

69

	広角端	中間	望遠端	
D 1	3.00	3.00	3.00	{ 0 2 7 2 }
D 6	13.58	7.92	2.00	{ 外 2 5 }
D11	10.34	8.22	9.56	
D16	4.86	8.40	15.65	

D 2 ~ 6面	$Z_i(M)=Z_i(W)$	$Z_i(T)=Z_i(W)$	
D 7 ~ 11面	$Z_i(M)=Z_i(W)+5.66$	$Z_i(T)=Z_i(W)+11.58$	
D12 ~ 16面	$Z_i(M)=Z_i(W)+3.54$	$Z_i(T)=Z_i(W)+10.79$	10
D17 面	$Z_i(M)=Z_i(W)$	$Z_i(T)=Z_i(W)$	

球面形状

R 1 面	$R1= \infty$	
R 2 面	$R2= \infty$	
R 4 面	$R4= \infty$	
R 6 面	$R6= \infty$	
R 7 面	$R7= \infty$	20
R 9 面	$R9= \infty$	
R11 面	$R11=\infty$	
R12 面	$R12=\infty$	
R14 面	$R14=\infty$	
R16 面	$R16=\infty$	

71

72

非球面形状

R 3 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = -9.93659e-03$ $C_{20} = -1.22676e-02$
 $C_{03} = 7.21398e-06$ $C_{21} = -1.44539e-04$
 $C_{04} = 1.48230e-05$ $C_{22} = -7.24467e-05$ $C_{40} = 5.24580e-05$

R 5 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = -1.00000e-02$ $C_{20} = -1.46379e-02$
 $C_{03} = 8.61457e-05$ $C_{21} = -3.69104e-04$
 $C_{04} = 9.82308e-05$ $C_{22} = -2.21626e-05$ $C_{40} = 7.11988e-06$

R 8 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = -1.97738e-03$ $C_{20} = -2.14999e-03$
 $C_{03} = -5.95281e-05$ $C_{21} = -6.08801e-05$
 $C_{04} = 1.16019e-05$ $C_{22} = -3.03704e-05$ $C_{40} = -6.27330e-06$

R10 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = 4.80326e-03$ $C_{20} = 6.42478e-03$
 $C_{03} = -2.10929e-05$ $C_{21} = -7.01246e-05$
 $C_{04} = -4.89310e-06$ $C_{22} = 7.92301e-07$ $C_{40} = -1.37335e-06$

R13 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = -6.78637e-03$ $C_{20} = -8.35258e-03$
 $C_{03} = -1.31716e-05$ $C_{21} = -1.21231e-04$
 $C_{04} = -2.47265e-06$ $C_{22} = 5.40094e-06$ $C_{40} = -1.63241e-07$

R15 面 $a = \infty$ $b = \infty$ $t = 0.$
 $C_{02} = 3.98146e-03$ $C_{20} = 4.12905e-03$
 $C_{03} = -8.15022e-05$ $C_{21} = -8.04787e-04$
 $C_{04} = 2.78836e-07$ $C_{22} = -3.52617e-07$ $C_{40} = -3.93188e-05$

図5 0において、第1面R1は入射瞳である絞り面、第2面R2～第6面R6、第7面R7～第11面R11、第12面R12～第16面R16は各々一体となった第1、2、3の光学素子、第17面R17は像面である。

【0273】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、第1面R1を通過した光束は第1の光学素子B1に入射する。第1の光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3で反射、第4面R4で全反射、第5面R5で反射、第6面R6で屈折し、第1の光学素子B1を射出する。ここで第2面R2、第4面R4、第6面R6は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。また、第1の光学素子B1は第5面R5近傍に中間結像面を有する。

【0274】次に第1の光学素子B1を射出した光束は第2の光学素子B2に入射する。第2の光学素子B2内では第7面R7で屈折、第8面R8で反射、第9面R9で全反射、第10面R10で反射、第11面R11で屈折し、第2の光学素子B2を射出する。ここで第7面R7、第9面R9、第11面R11は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。

【0275】次に第2の光学素子B2を射出した光束は第3の光学素子B3に入射する。第3の光学素子B3内では第12面R12で屈折、第13面R13で反射、第14面R14で全反射、第15面R15で反射、第16面R16で屈折し、第3の光学素子B3を射出する。ここで第12面R12、第14面R14、第16面R16は同一面であり屈折面と全反射面を兼ねている。

【0276】最後に第3の光学素子B3を射出した光束は最終結像面第17面R17 (CCD等の撮像媒体の撮像面)上に結像する。

【0277】次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1の光学素子B1は固定であり、動かない。第2の光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。第3の光学素子B3も広角端から望遠端に向かってZプラス方向に移動する。像面である第17面は変倍に際して移動しない。

【0278】ここで、広角端から望遠端への変倍によって第1の光学素子B1と第2の光学素子B2との間隔は狭ま

40

50

り、第2の光学素子B2と第3の光学素子B3との間隔は狭まり、第3の光学素子B3と像面との間は広がる。また、広角端から望遠端に向って第1面R1から像面R17間での全系の光路長は短くなるよう変化している。

【0279】本実施例においては3つの光学素子の入射・射出基準軸が夫々平行でしかも逆方向に向いている。

【0280】図51、52、53は本実施例の横収差図＊

＊である。

【0281】〔実施例16〕図54は本発明の実施例16のYZ面内での光学断面図である。本実施例は変倍比約2.9倍の三群ズームレンズの撮像光学系である。その構成データを以下に記す。

【0282】

〔外26〕

	広角端	中間	望遠端
水平半面角	26.0	18.0	9.2
垂直半面角	20.0	13.6	6.9
絞り径	2.0	2.5	3.0

像サイズ 水平4.6mm × 垂直3.6mm

光学系のサイズ(X×Y×Z)＝広角端において 10.8x 93.2x 39.4

i	Yi	Zi(W)	θi	Di	Ndi	νdi	
1	0.00	0.00	0.00	-3.00	1		絞り

第1光学素子

2	0.00	-3.00	0.00	7.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	-10.00	28.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
4	9.12	-3.85	14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
5	14.28	-13.56	0.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
6	19.45	-3.85	-14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
7	28.57	-10.00	-28.00	7.00	1.51633	64.15	反射面
8	28.57	-3.00	0.00	変数	1		屈折面

第2光学素子

9	28.57	14.26	0.00	8.00	1.51633	64.15	屈折面
10	28.57	22.26	-28.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
11	37.69	16.11	-14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
12	42.85	25.82	0.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
13	48.01	16.11	14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
14	57.13	22.26	28.00	10.00	1.51633	64.15	反射面
15	57.13	12.26	0.00	変数	1		屈折面

第3光学素子

16	57.13	6.28	0.00	10.00	1.51633	64.15	屈折面
17	57.13	-3.72	28.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
18	66.25	2.44	14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
19	71.42	-7.28	0.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
20	76.58	2.44	-14.00	11.00	1.51633	64.15	反射面
21	85.70	-3.72	-28.00	8.00	1.51633	64.15	反射面
22	85.70	4.28	0.00	変数	1		屈折面
23	85.70	14.95	0.00	0.00	1		像面

【0283】

〔外27〕

	75			
	広角端	中間	望遠端	[0 2 8 4]
D 8	17. 26	15. 09	12. 59	[外 2 8]
D15	-5. 98	-6. 70	-12. 60	
D22	10. 67	13. 57	21. 96	

D 1 ~ 8面	Zi (M)=Zi (W)	Zi (T)=Zi (W)	
D 9 ~15面	Zi (M)=Zi (W)-2. 17	Zi (T)=Zi (W)- 4. 67	
D16 ~22面	Zi (M)=Zi (W)-2. 90	Zi (T)=Zi (W)-11. 29	
D23 面	Zi (M)=Zi (W)	Zi (T)=Zi (W)	10

球面形状

R 2 面	R 2=∞	
R 8 面	R 8=∞	
R 9 面	R 9=-26. 000	
R15 面	R15=-30. 000	
R16 面	R16= 30. 000	
R22 面	R22=∞	20

非球面形状

R 3 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = 2.42966e-02$	$C_{20} = 2.85815e-02$	
	$C_{03} = 1.27688e-04$	$C_{21} = 2.75023e-04$	
	$C_{04} = 5.94756e-05$	$C_{22} = 1.73749e-04$	$C_{40} = 9.46028e-05$
R 4 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = 1.36528e-02$	$C_{20} = 1.93571e-02$	
	$C_{03} = -9.46379e-05$	$C_{21} = 1.42495e-04$	
	$C_{04} = 7.52065e-05$	$C_{22} = 4.28859e-05$	$C_{40} = 3.27579e-04$
R 5 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = 2.43496e-02$	$C_{20} = 3.21846e-02$	
	$C_{03} = 3.81313e-05$	$C_{21} = 2.30254e-04$	
	$C_{04} = 2.54068e-05$	$C_{22} = 5.42611e-05$	$C_{40} = 3.90591e-05$
R 6 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = 2.89424e-02$	$C_{20} = 4.71870e-02$	
	$C_{03} = 8.19002e-04$	$C_{21} = 5.81365e-03$	
	$C_{04} = 1.13450e-04$	$C_{22} = 8.53323e-04$	$C_{40} = 3.25877e-04$
R 7 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = 2.25341e-02$	$C_{20} = 3.27573e-02$	
	$C_{03} = 1.08727e-05$	$C_{21} = 1.56613e-04$	
	$C_{04} = 9.67596e-06$	$C_{22} = 1.24266e-05$	$C_{40} = 1.28975e-05$
R10 面	$a = \infty$	$b = \infty$	$t = 0.$
	$C_{02} = -1.86873e-02$	$C_{20} = -3.56693e-02$	
	$C_{03} = -1.16106e-04$	$C_{21} = -8.55687e-04$	
	$C_{04} = -2.81628e-06$	$C_{22} = -5.18664e-05$	$C_{40} = -5.50940e-05$

【 0 2 8 5 】

【 外 2 9 】

79

80

R11 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 4.76998e-04	C ₂₀ = 2.79370e-02	
	C ₀₃ = 2.92315e-04	C ₂₁ = 1.48850e-03	
	C ₀₄ = -7.01032e-05	C ₂₂ = 1.18259e-04	C ₄₀ = 1.15392e-03
R12 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -2.02781e-02	C ₂₀ = -3.32954e-02	
	C ₀₃ = -7.86615e-05	C ₂₁ = 7.23563e-05	
	C ₀₄ = -1.33285e-05	C ₂₂ = -1.08129e-04	C ₄₀ = -3.99671e-05
R13 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -3.67572e-03	C ₂₀ = -1.71026e-02	
	C ₀₃ = -1.50855e-04	C ₂₁ = -7.37119e-04	
	C ₀₄ = -5.55679e-05	C ₂₂ = 6.57743e-05	C ₄₀ = -1.44357e-05
R14 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = -2.03776e-02	C ₂₀ = -1.38465e-02	
	C ₀₃ = -1.65371e-04	C ₂₁ = -5.01719e-04	
	C ₀₄ = -1.86583e-05	C ₂₂ = 1.89858e-05	C ₄₀ = 1.81223e-05
R17 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 1.59437e-02	C ₂₀ = 1.92814e-02	
	C ₀₃ = 8.38086e-05	C ₂₁ = 2.54581e-04	
	C ₀₄ = 8.30086e-06	C ₂₂ = -6.10076e-06	C ₄₀ = 1.46563e-05
R18 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 1.68742e-02	C ₂₀ = 4.67377e-02	
	C ₀₃ = -6.62974e-04	C ₂₁ = 2.91357e-03	
	C ₀₄ = 1.09154e-04	C ₂₂ = -5.03477e-04	C ₄₀ = 7.03141e-04
R19 面	a = ∞	b = ∞	t = 0.
	C ₀₂ = 2.10551e-02	C ₂₀ = 2.59965e-02	
	C ₀₃ = -1.65990e-04	C ₂₁ = 3.76338e-04	
	C ₀₄ = 2.08577e-05	C ₂₂ = 2.44730e-05	C ₄₀ = 4.08933e-05

図5 4において、第1面は入射瞳である絞り面R1であり、第2面R2～第8面R8、第9面R9～第15面R15、第16面R16～第22面R22は各々一体となった第1、第2、第3の光学素子であり、第23面R23は像面である。

【0286】以下、物体位置を無限遠としたときの結像作用について述べる。まず、絞りR1を通過した光束は第1の光学素子B1に入射する。第1の光学素子B1内では第2面R2で屈折、第3面R3、第4面R4、第5面R5、第6面R6、第7面R7で反射、第8面R8で屈折し、第1の光学素子B1を射出する。ここで、光束は第4面R4近傍に中間結像する。更に、第1の光学素子B1と第2の光学素子B2との間に2次結像する。

【0287】次に光束は第2の光学素子B2に入射する。第2の光学素子B2内では第9面R9で屈折、第11面R11、第12面R12、第13面R13、第14面R14で反射、第15面R15で屈折し、第2の光学素子B2を射出す

る。ここで光束は第12面R12と第13面R13の間に中間結像面を有する。さらに光束は第15面R15近傍に瞳を形成している。

【0288】次に第2の光学素子B2を射出した光束は第3の光学素子B3に入射する。第3の光学素子B3内では第16面R16で屈折、第17面R17、第18面R18、第19面R19、第20面R20、第21面R21で反射、第22面R22で屈折し、第3の光学素子B3を射出する。ここで、光束は第18面R18近傍に中間結像する。

【0289】最後に第3の光学素子B3を射出した光束は最終結像面である第23面R23(CCD等の撮像媒体の撮像面)上に結像する。

【0290】次に、変倍動作に伴う各光学素子の移動について説明する。変倍に際して第1の光学素子B1は固定であり、動かない。第2の光学素子B2は広角端から望遠端に向かってZマイナス方向に移動する。第3の光学素子B3は広角端から望遠端に向かってZマイナス方向に移動す

る。像面である第2面R20は変倍に際して移動しない。

【0291】ここで、広角端から望遠端に向っての変倍により第1の光学素子B1と第2の光学素子B2との間隔は狭まり、第2の光学素子B2と第3の光学素子B3との間隔は広がり、第3の光学素子B3と像面R23との間は広がる。また、広角端から望遠端に向って第1面R1から像面R23間での全系の光路長は長くなるよう変化している。

【0292】本実施例においては3つの光学素子の入射・射出基準軸は夫々平行でしかも逆方向を向いている。

【0293】図55、56、57は本実施例の横収差図である。

【0294】又、本発明においては実施例5～8及び実施例13～16を構成している透明体の表面に2つの屈折面と複数の反射面を形成した光学素子と、実施例9～12を構成しているような表面反射鏡より成る複数の反射面を一体的に形成した光学素子とを複数用いて、そのうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変化させることによりズームを行う反射型のズーム光学系も構成することが出来る。その場合も反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにする等の効果が得られる。

【0295】以上の各実施例のうち、実施例1～8及び実施例13～16はすべて薄い板状のブロックの側面に2つの屈折面及び複数の曲面、平面等の反射面を形成した光学素子を有し、そのうちの2つの光学素子を像面に対して相対的に移動することにより変倍を行っている。

【0296】そしてすべての実施例において、光学素子上に形成した曲面反射面はすべて偏心した曲面反射面であり、それらはすべて一平面(YZ)内で偏心している。そして2つの光学素子がYZ平面に平行に一方方向に移動することにより変倍を行っている。

【0297】本発明によれば、光学系を薄型の光学素子でもって構成でき、又ズームの構造として1つの平面上を移動する構造が採れるので薄型のズームレンズを容易に構成することが出来る。

【0298】更に、各光学素子から射出する基準軸の方向を入射基準軸の方向に対して同方向とも又逆方向にも容易に設定できるので、光学系の全体の形状を設定する自由度が極めて大きく、従って、カメラの形態に大きい自由度を与える。

【0299】そしていずれも各焦点距離において、バランスの良い収差補正が得られている。

【0300】又、本発明においては、前記の実施例13～16等のように変倍に際して固定の光学素子（第1光学素子B1）の入射基準軸を変倍時に移動する光学素子の移動平面に対して任意角度傾けて配置することによりカメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

【0301】図58は変倍時に移動しない光学素子（第1光学素子B1）の入射基準軸を変倍時に移動する第2、第3光学素子の移動平面に対して任意角度傾けた光学系

の斜視図である。同図において、B1は変倍時に移動しない第1の光学素子であり、所謂撮影光学系の前玉に相当する。B2、B3は夫々変倍時に移動する第2、第3の光学素子であり、第2の光学素子B2は所謂バリエーター、第3の光学素子B3はコンペンセーターに相当している。

【0302】そして第2、第3の光学素子B2、B3は図58のYZ平面上を移動して変倍を行う。又、第2、第3の光学素子B2、B3内の全ての基準軸はYZ平面上に存在している。

【0303】変倍時に移動する第2、第3の光学素子B2、B3は上記の理由によりYZ平面と基準軸を含む平面を傾けることが出来ない。しかし変倍に際して固定の第1の光学素子B1はその内の基準軸の一部($A_{1,1} \sim A_{1,6}$)が前記基準軸平面内に存在しなければならないが、基準軸のその他の部分($A_{0,1}$)は基準軸平面（移動平面）内である必要は無い。

【0304】即ち、本実施例においては、反射面R_{1,1}を設けてX軸方向から入射する基準軸A₀の方向を第1の光学素子B1内のこの面R_{1,1}によってZ軸方向に偏向している。

【0305】このように反射面R_{1,1}を設けることにより撮影光学系に入射する光束の方向を自由に設定することができ、カメラの形態に一層の自由度を増すことが出来る。

【0306】

【発明の効果】本発明は以上のように各要素を設定することにより、特に複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切に変化させてズームを行うことにより、ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにした反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0307】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型のズーム光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、各光学素子を構成する反射面を偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図った反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【0308】この他本発明によれば、

(2-1) 曲率を有する複数の反射面を一体に形成した光学素子を複数個有する光学系において、該複数の光学素子の相対的位置を変化させ、光学系の変倍（ズーム）及びフォーカシングを行う構成とすることにより、変倍時に移動する反射面がユニット化されている為

に、従来のミラー光学系における変倍動作に比して、最も精度が要求される各反射面の相対的な位置精度を保証することが出来るので、変倍に伴う光学性能の劣化を防ぐことが出来る。

(2-2) 反射面が一体の上に形成された光学素子を用いる為に、光学素子自体が鏡筒の役目を果たすので、従来の鏡筒に比べて著しく簡単なマウント部材で済む。

(2-3) 屈折レンズ系に比して、各光学素子を曲率を有する複数の面が一体的に形成されたレンズユニットとしている為に、撮影系全体の部品点数を少なくすることが出来る。従って部品点数の点から撮影系の低コスト化が達成出来る。

【0309】更に、撮影系全体の部品点数を少なくすることが出来るため、部品の取り付けによる累積誤差を少なくし、光学性能の劣化を防ぐことが出来る。

(2-4) 光学素子上の各反射面を適切な位置に偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、光学系の全長方向の短縮化を達成できる。

(2-5) 変倍に際して固定の光学素子を設けることにより、基準軸の一部を基準軸の殆どを含む平面に対して任意角度傾けることができ、カメラの形態に自由度を増すことが出来る。

(2-6) 多数回の結像を繰り返して物体像を伝達して行く構成を採ることにより、各面の光線有効径を小さく抑え、撮影光学系全体のコンパクト化を達成している。

(2-7) 中間結像面の結像サイズを撮像素子面サイズに比して比較的小さく設定することにより、物体像の伝達に際して各面の光線有効径を小さく抑えることができる。

(2-8) 相対的位置を変化させる2つの光学素子中の基準軸をはじめ、殆どの基準軸を含む平面と平行に光学素子が移動する平面を設定することにより、光学素子が変倍に際して移動しても、基準軸を含む平面と各光学素子が移動する平面との平行度が容易に保たれる。従って、変倍に際して移動する光学素子の移動平面と基準軸を含む平面との傾きによって生じる偏心収差の発生を除去している。

(2-9) 変倍時における各光学素子の移動は一平面上にて行われるので、移動方向に垂直な方向の平行偏心は容易に防ぐことができる。又、移動平面に垂直な面内の回転は原理的に除去できる。

(2-10) 各光学素子は一平面上に配置されているので、各光学素子を一方方向から組み込むことができ、組み立てが容易となり、組み立てコストを低減することができる。

(2-11) 光学系に配置される絞りを光学系の物体側に配置することにより、光学系を広画角化してもレンズ径が大きくなりえないズームレンズを達成することができる。

等の少なくとも1つの効果を有した反射型のズーム光学系及びそれを用いた撮像装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例における座標系の説明図

【図2】 本発明の実施例1の要部概略図

【図3】 実施例1の変倍動作を説明する為の説明図

【図4】 本発明の実施例2の要部概略図

【図5】 本発明の実施例3の要部概略図

【図6】 実施例3の変倍動作を説明する為の説明図

【図7】 本発明の実施例4の要部概略図

【図8】 実施例4の変倍動作を説明する為の説明図

【図9】 本発明の実施例5のYZ面内での光学断面図

【図10】 実施例5の横収差図(広角端)

【図11】 実施例5の横収差図(中間位置)

【図12】 実施例5の横収差図(望遠端)

【図13】 本発明の実施例6のYZ面内での光学断面図

【図14】 実施例6の横収差図(広角端)

【図15】 実施例6の横収差図(中間位置)

【図16】 実施例6の横収差図(望遠端)

【図17】 本発明の実施例7のYZ面内での光学断面図

【図18】 実施例7の横収差図(広角端)

【図19】 実施例7の横収差図(中間位置)

【図20】 実施例7の横収差図(望遠端)

【図21】 本発明の実施例8のYZ面内での光学断面図

【図22】 実施例8の横収差図(広角端)

【図23】 実施例8の横収差図(中間位置)

【図24】 実施例8の横収差図(望遠端)

【図25】 本発明の実施例9のYZ面内での光学断面図

【図26】 実施例9の横収差図(広角端)

【図27】 実施例9の横収差図(中間位置)

【図28】 実施例9の横収差図(望遠端)

【図29】 本発明の実施例10のYZ面内での光学断面図

【図30】 実施例10の横収差図(広角端)

【図31】 実施例10の横収差図(中間位置)

【図32】 実施例10の横収差図(望遠端)

【図33】 本発明の実施例11のYZ面内での光学断面図

【図34】 実施例11の横収差図(広角端)

【図35】 実施例11の横収差図(中間位置)

【図36】 実施例11の横収差図(望遠端)

【図37】 本発明の実施例12のYZ面内での光学断面図

【図38】 実施例12の横収差図(広角端)

【図39】 実施例12の横収差図(中間位置)

【図40】 実施例12の横収差図(望遠端)

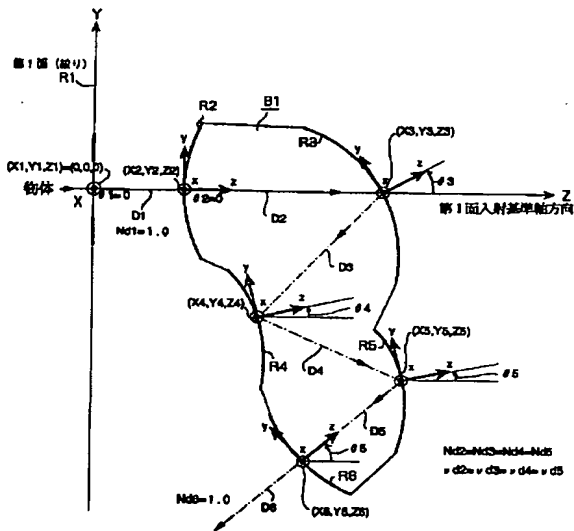
【図41】 本発明の実施例13のYZ面内での光学断面図

【図42】 実施例13の斜視図

【図43】 実施例13の横収差図(広角端)

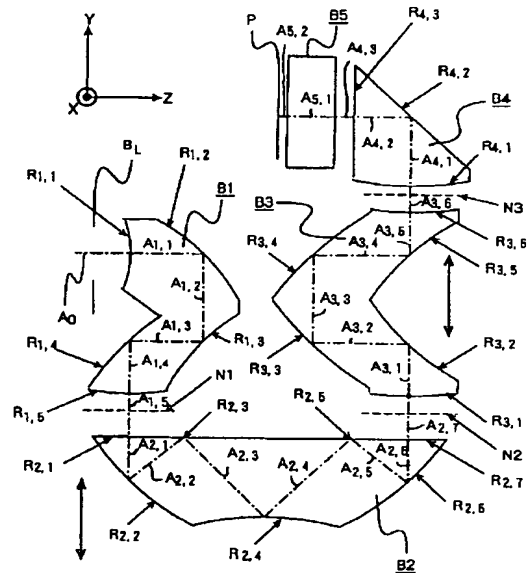
- 【図44】 実施例13の横収差図（中間位置）
 【図45】 実施例13の横収差図（望遠端）
 【図46】 本発明の実施例14のYZ面内での光学断面図
 【図47】 実施例14の横収差図（広角端）
 【図48】 実施例14の横収差図（中間位置）
 【図49】 実施例14の横収差図（望遠端）
 【図50】 本発明の実施例15のYZ面内での光学断面図
 【図51】 実施例15の横収差図（広角端）
 【図52】 実施例15の横収差図（中間位置）
 【図53】 実施例15の横収差図（望遠端）
 【図54】 本発明の実施例16のYZ面内での光学断面図
 【図55】 実施例16の横収差図（広角端）
 【図56】 実施例16の横収差図（中間位置）
 【図57】 実施例16の横収差図（望遠端）
 【図58】 三群ズームレンズにおいて入射基準軸をYZ平面に対して任意角度傾けた光学系の斜視図
 【図59】 カセグレン式反射望遠鏡の基本構成図

【図1】

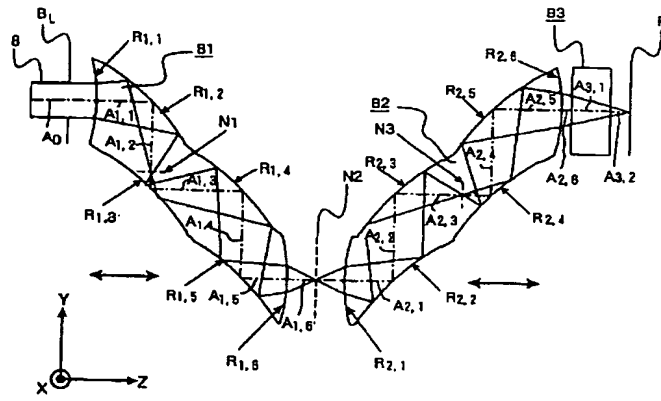


- *【図60】 ミラー光学系における、主光線を光軸から離しケラレを防止する第一の方法の説明図
 【図61】 ミラー光学系における、主光線を光軸から離しケラレを防止する第二の方法の説明図
 【図62】 従来の反射ミラーを用いたズーム光学系の概略図
 【図63】 プリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概略図
 【図64】 他のプリズム反射面に曲率を持った観察光学系の概略図
 【符号の説明】
 Ri, R_i... 面
 Bi 第iの光学素子
 Di 基準軸に沿った面間隔
 Ndi 屈折率
 v_{di} アッペ数
 A_{i,1} 基準軸
 R_i=R1 絞り
 P 最終像面
 Ni 中間結像

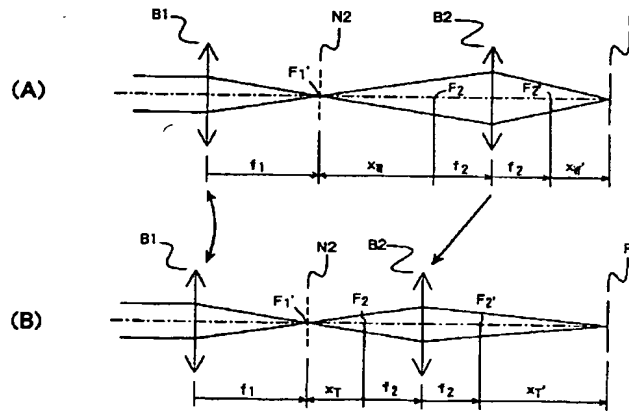
【図7】



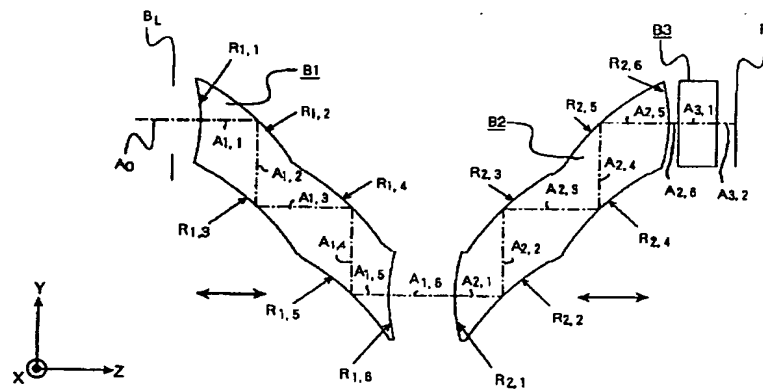
【図2】



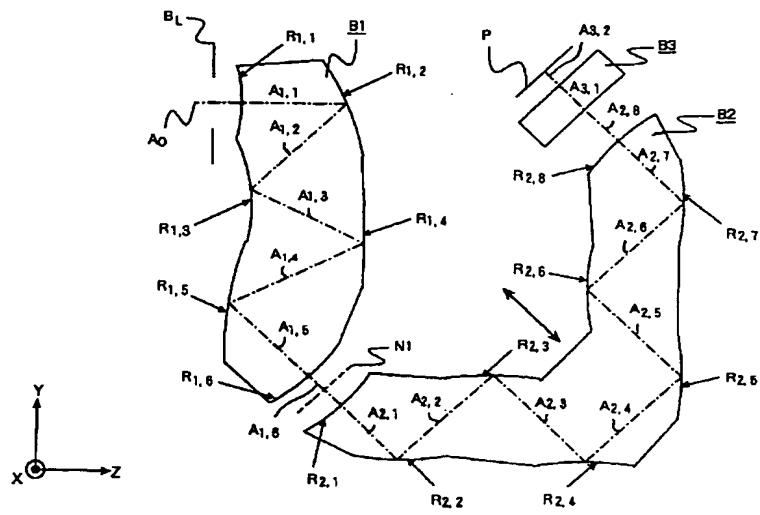
【図3】



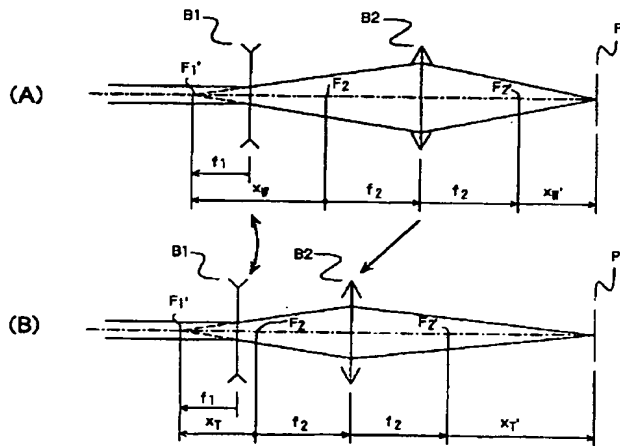
【図5】



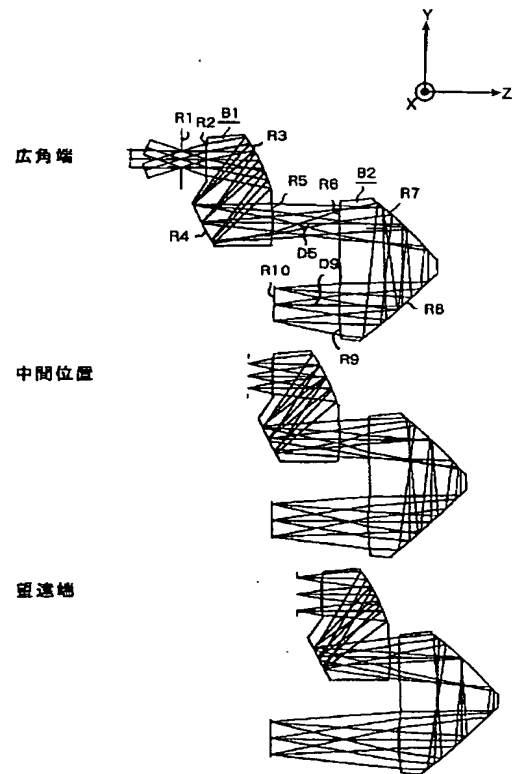
【図4】



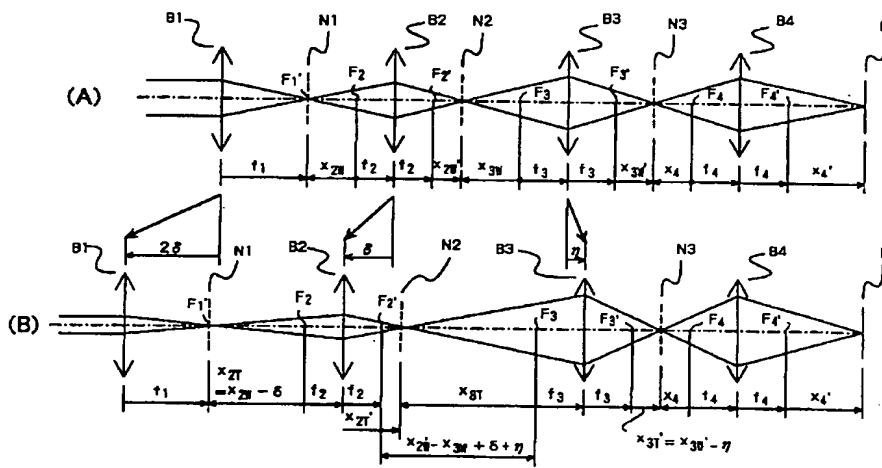
【図6】



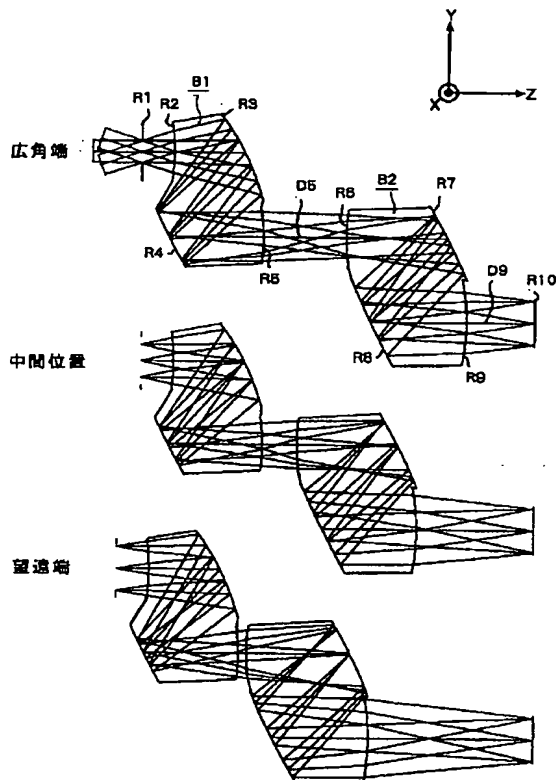
【図13】



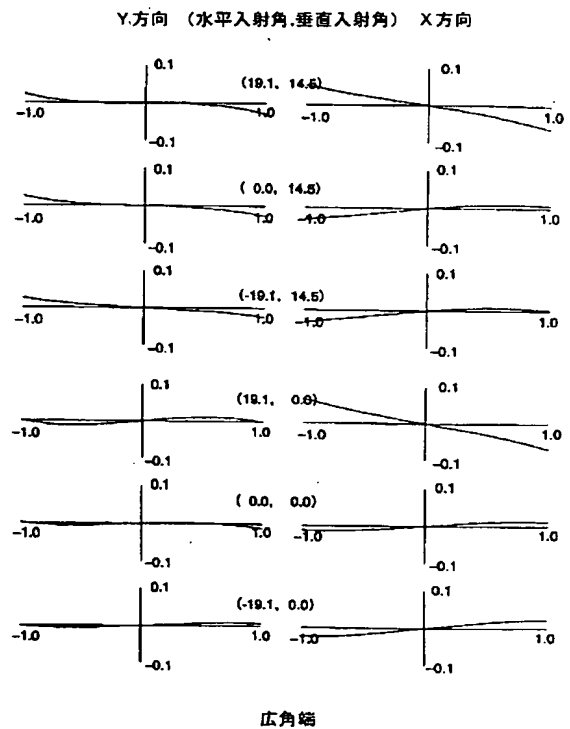
【図8】



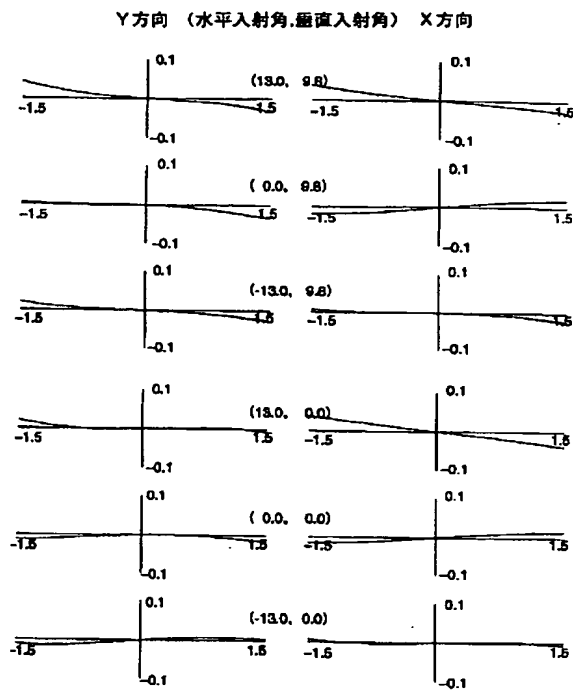
【図9】



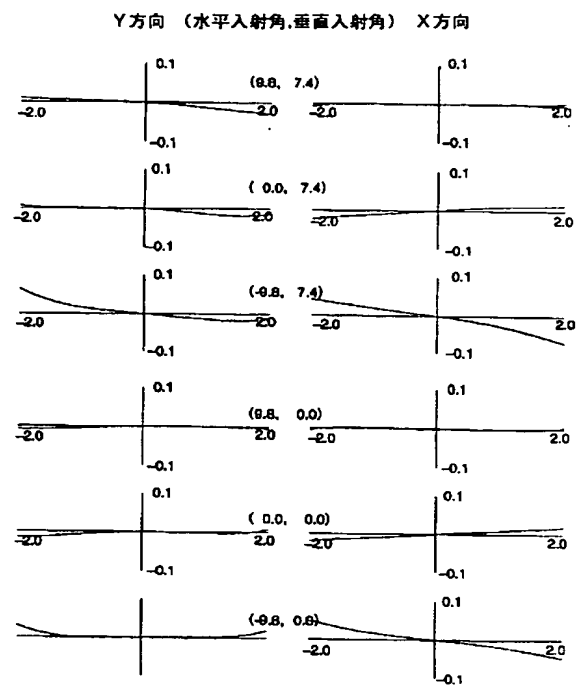
【図10】



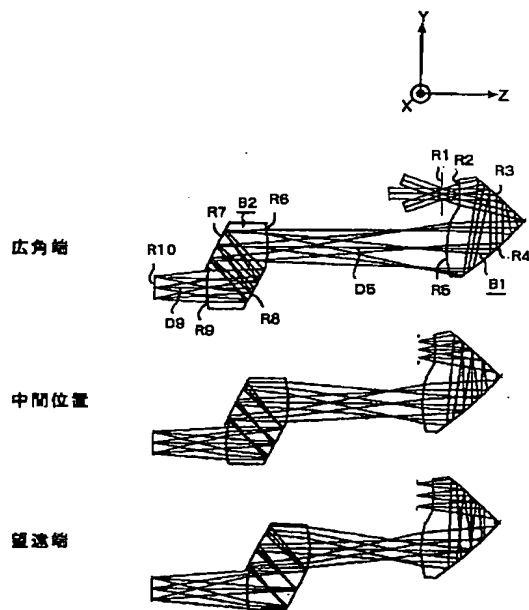
【図11】



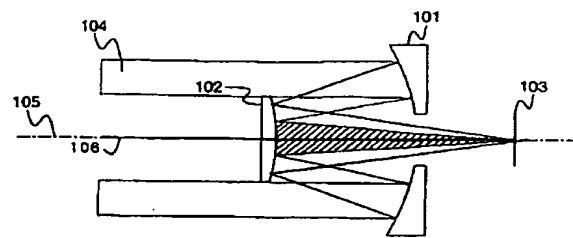
【図12】



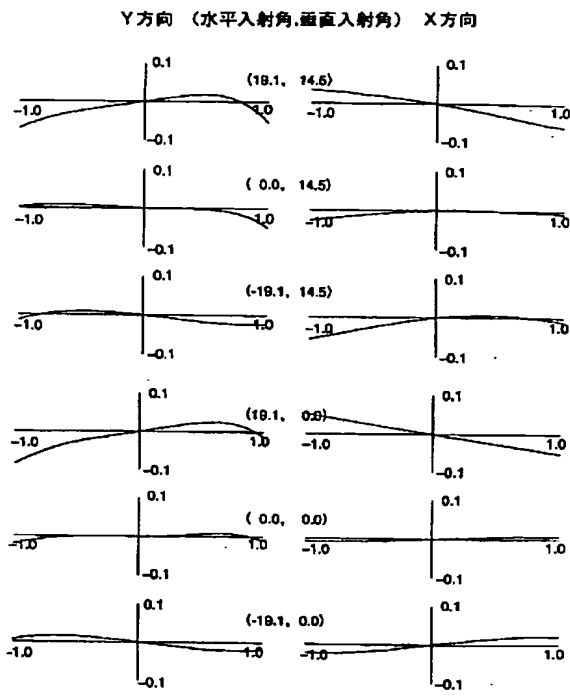
【図17】



【図59】

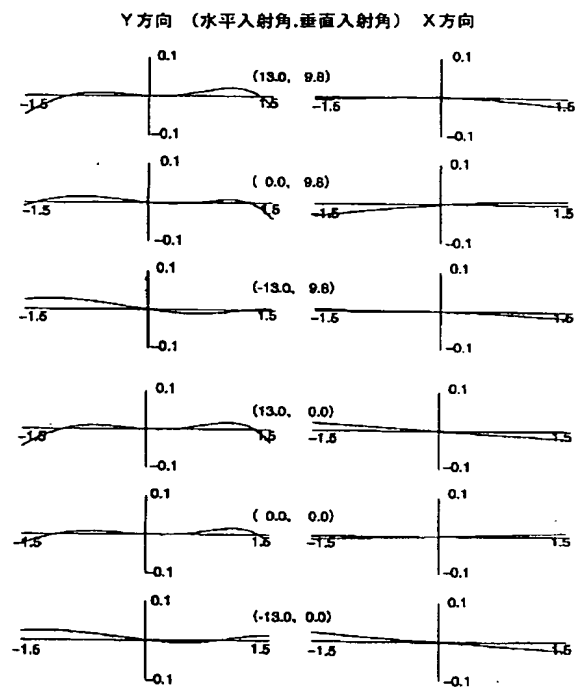


【図14】



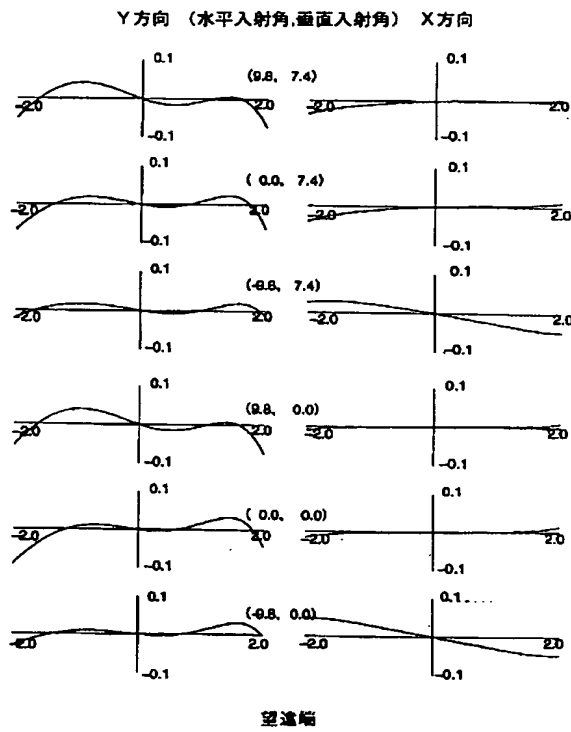
広角端

【図15】

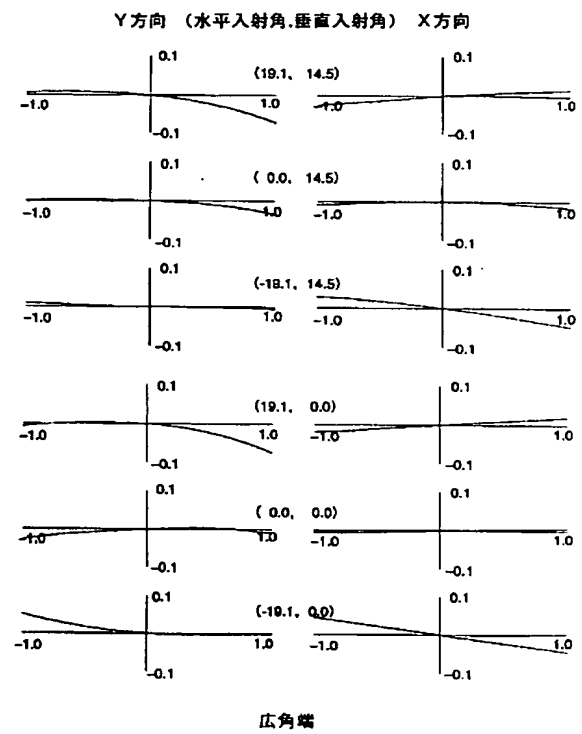


中間位置

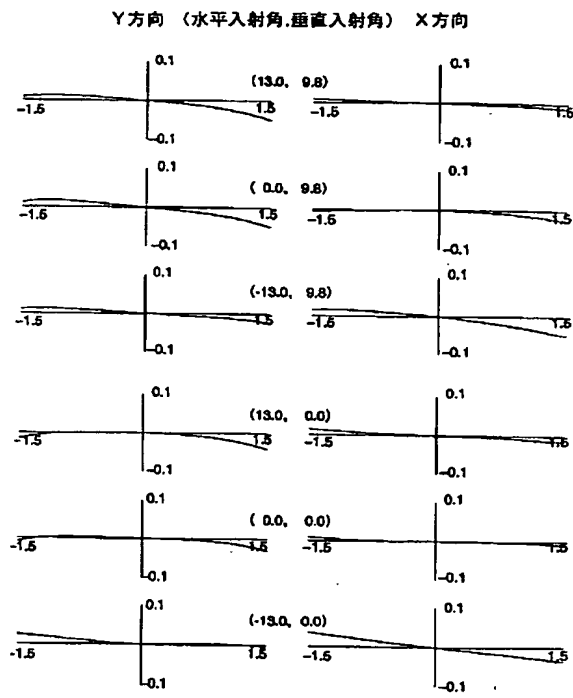
【図16】



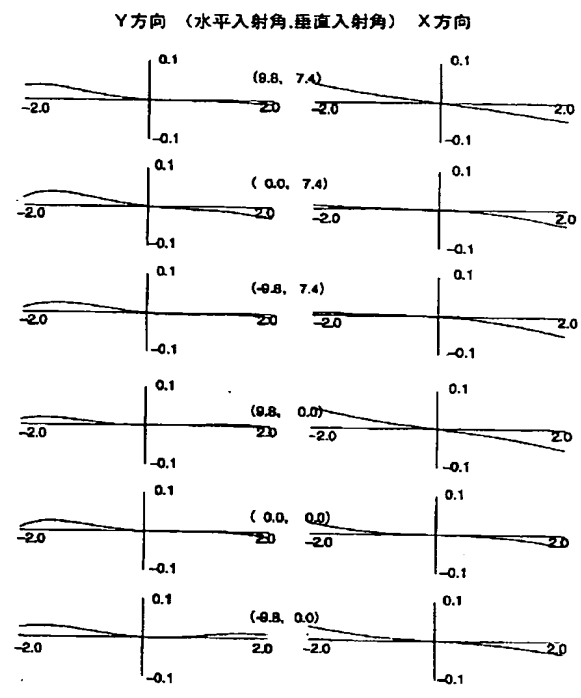
【図18】



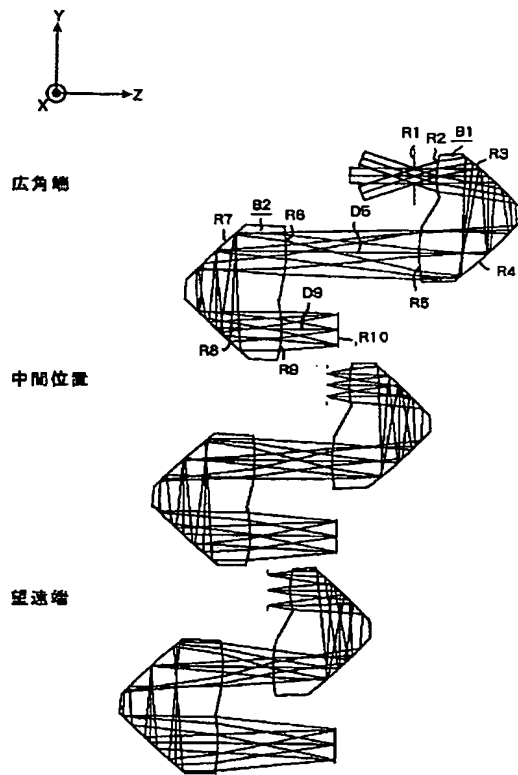
【図19】



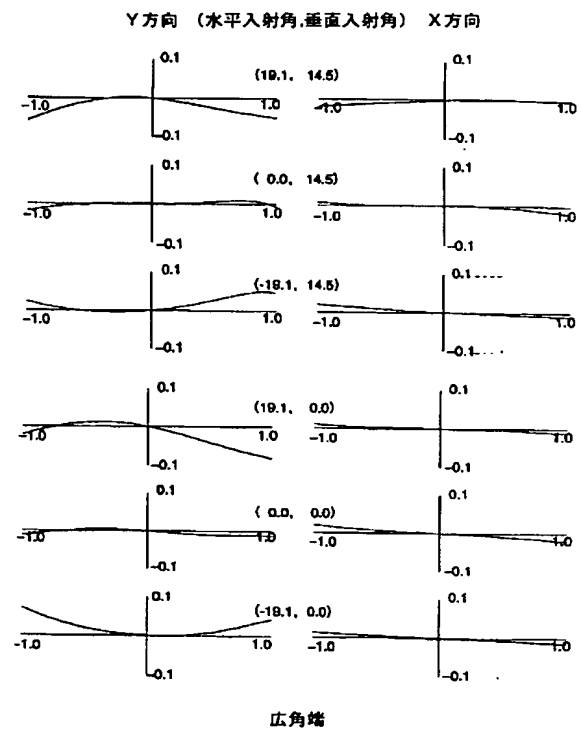
【図20】



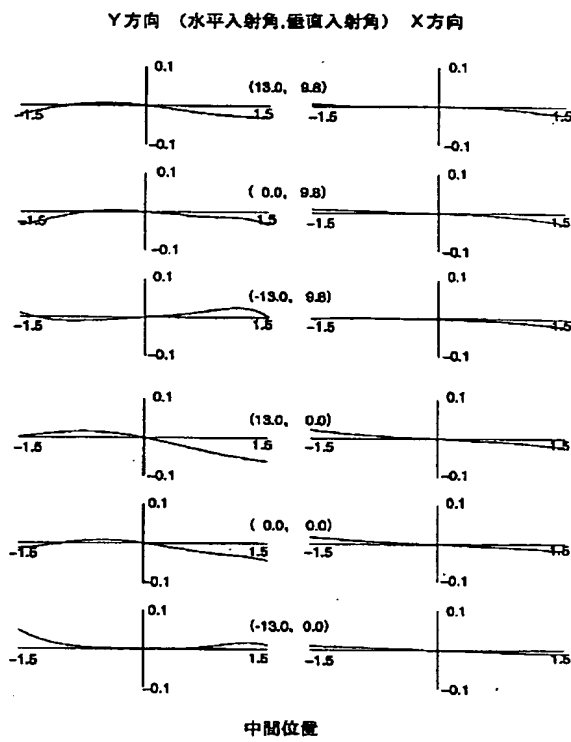
【図21】



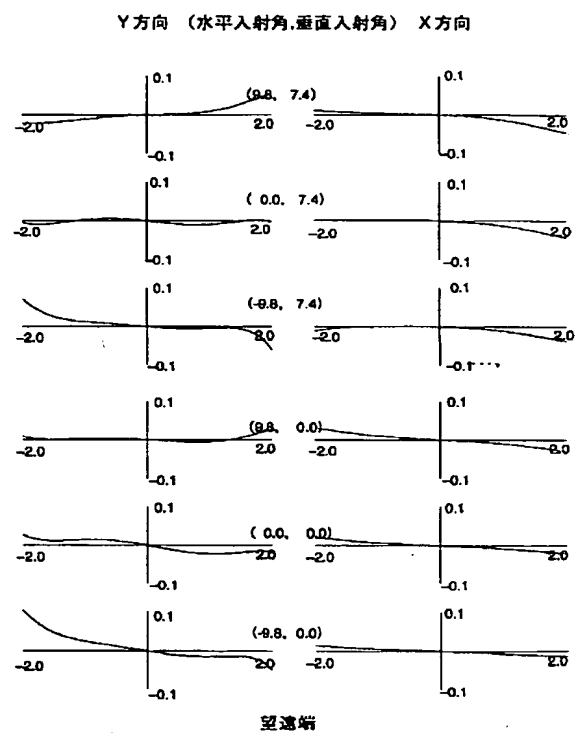
【図22】



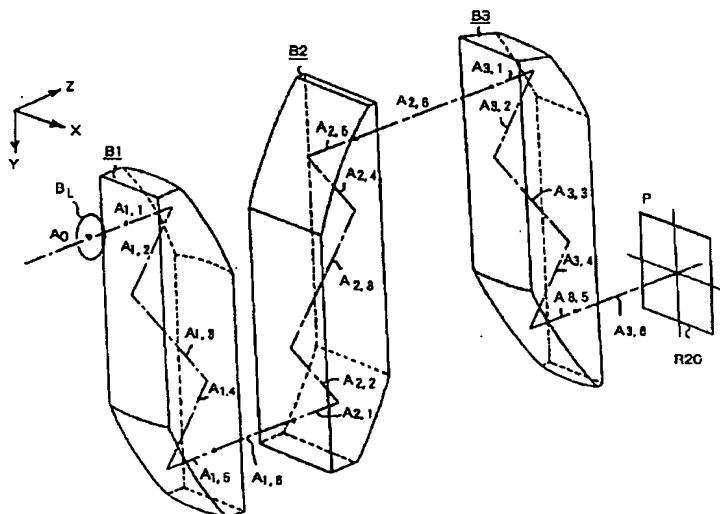
【図23】



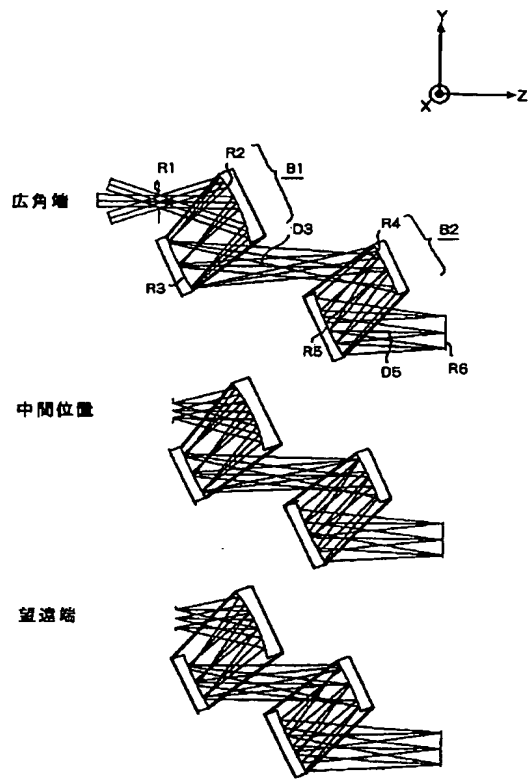
【図24】



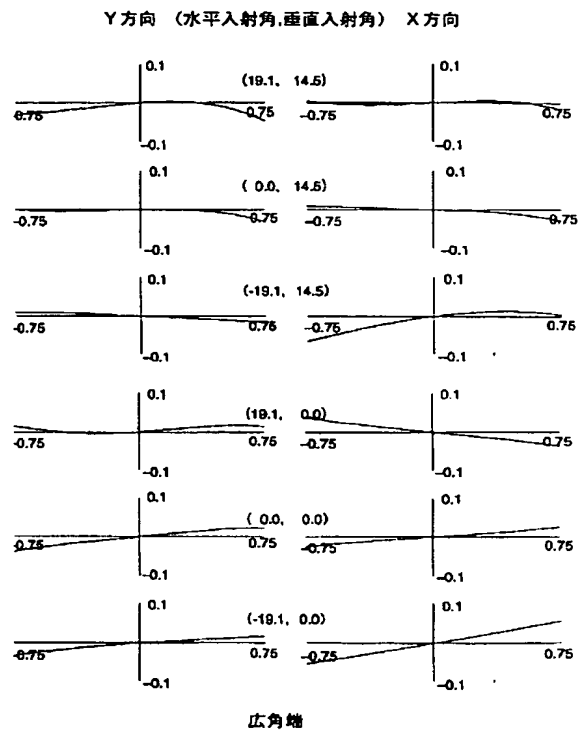
【図42】



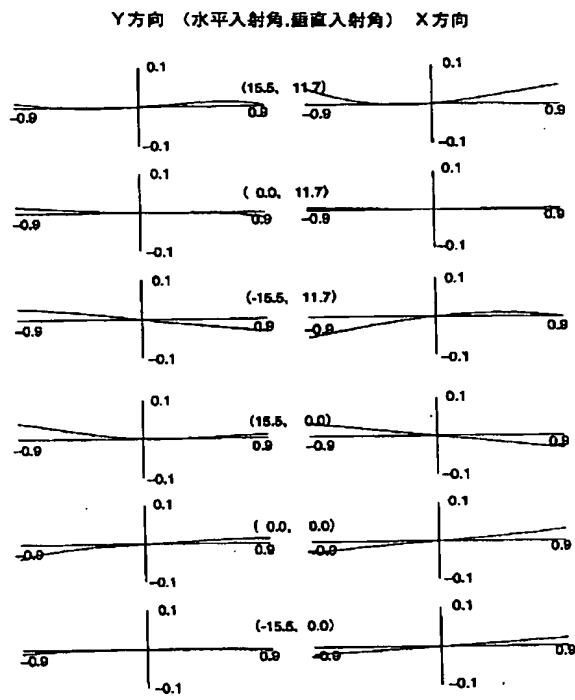
【図 25】



【図 26】

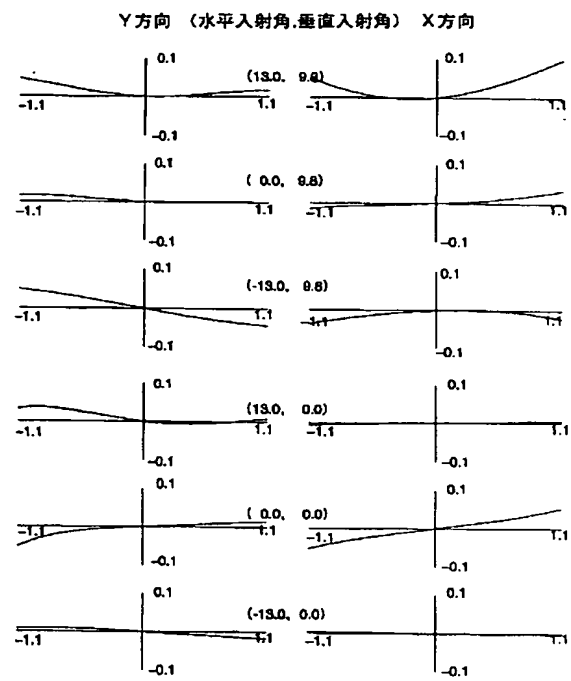


【図 27】



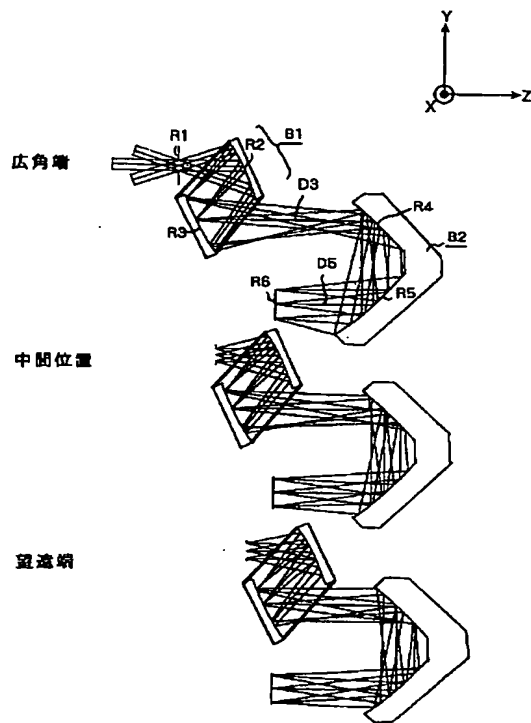
中間位置

【図 28】

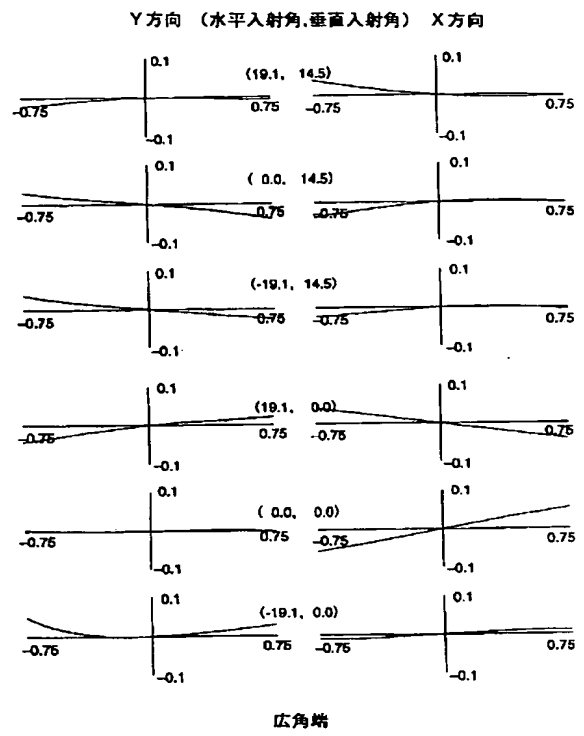


望遠端

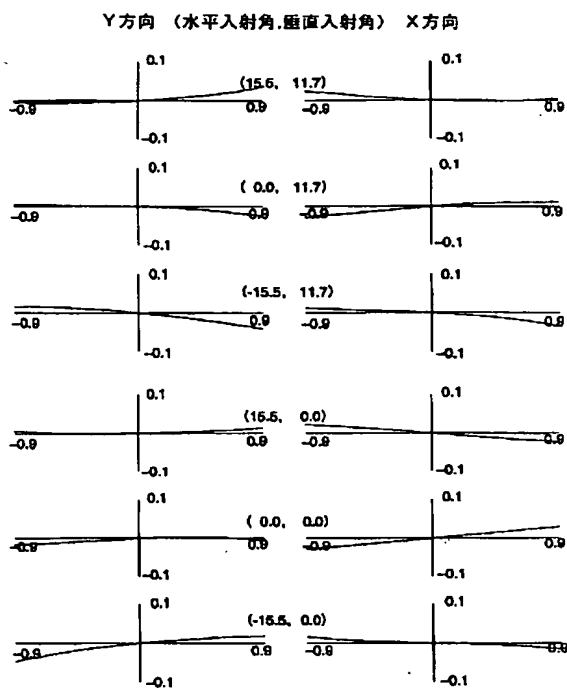
【図29】



【図30】

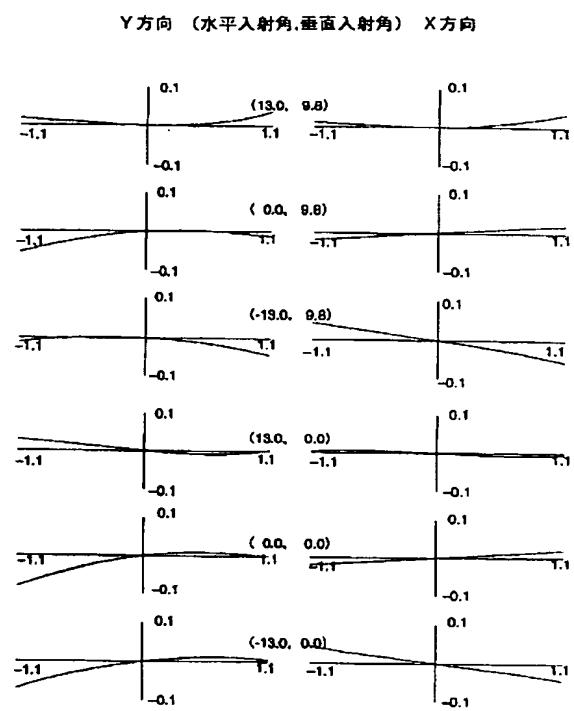


【図31】



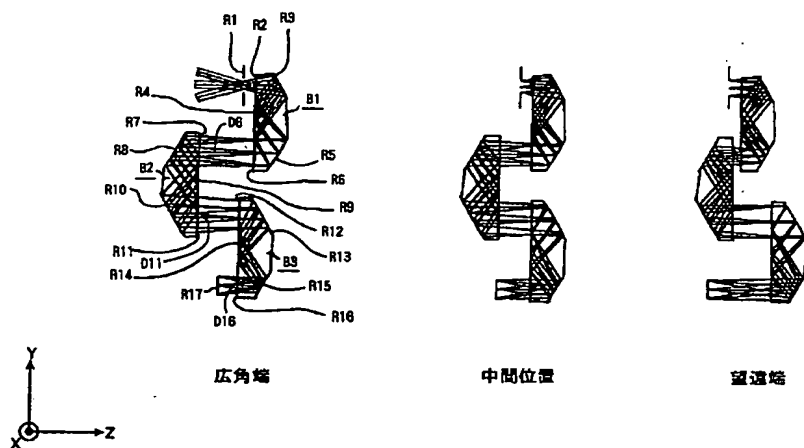
中間位置

【図32】

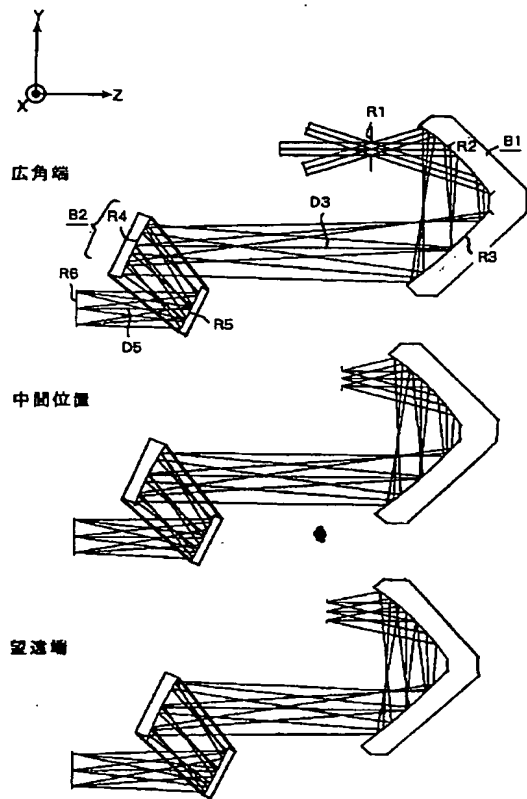


望遠端

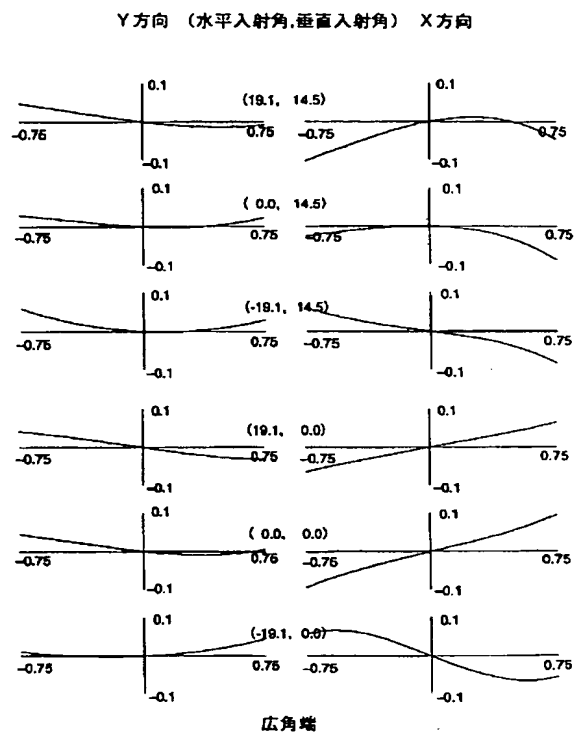
【図50】



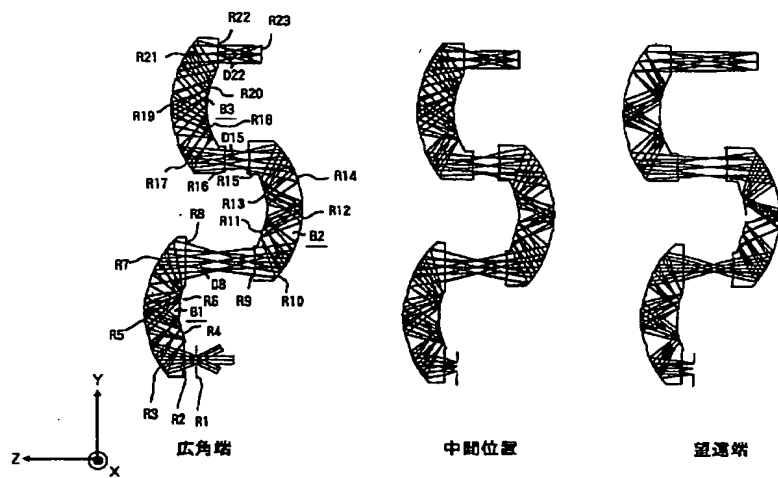
【図33】



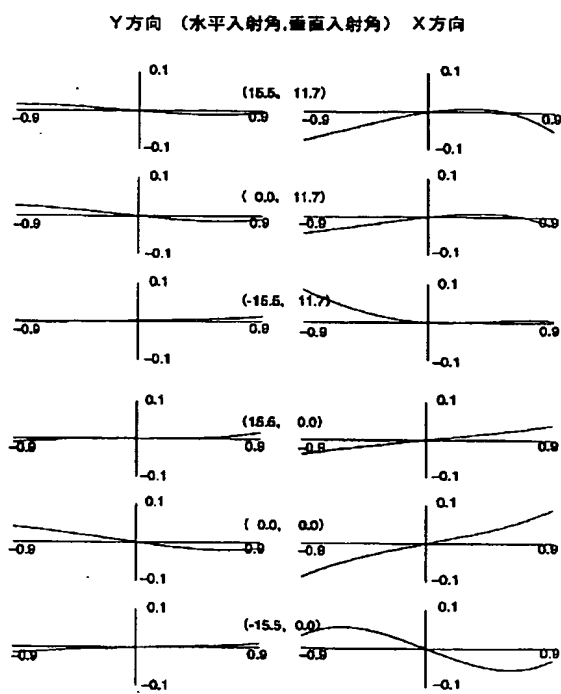
【図34】



【図54】

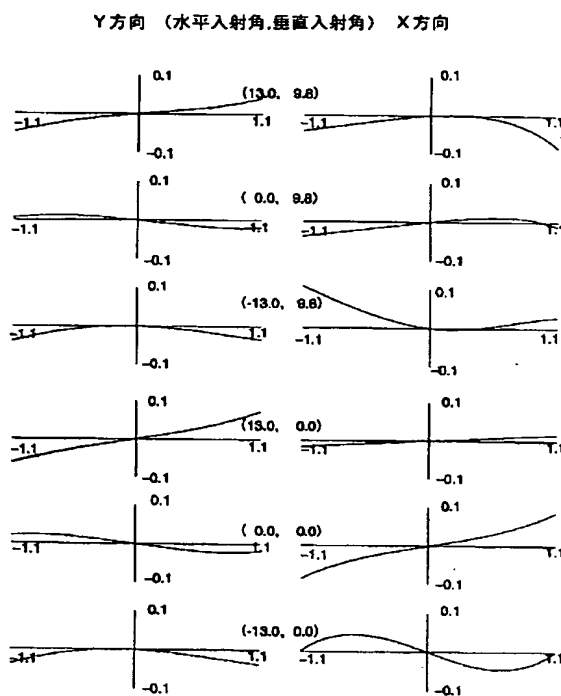


【図35】



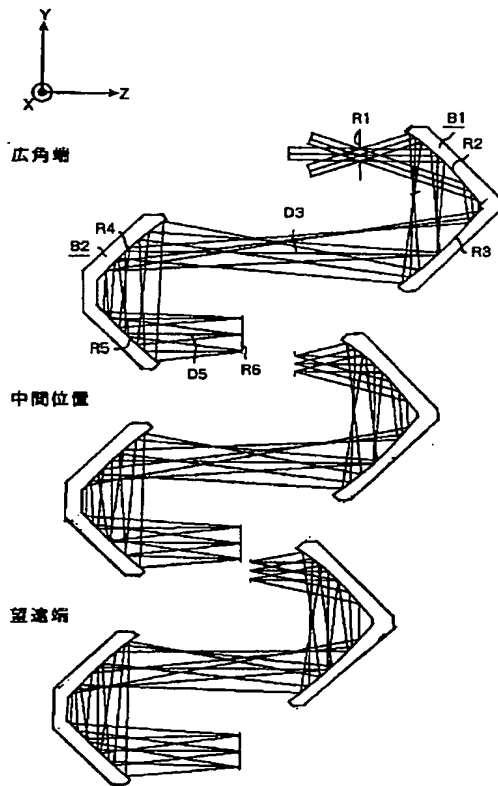
中間位置

【図36】

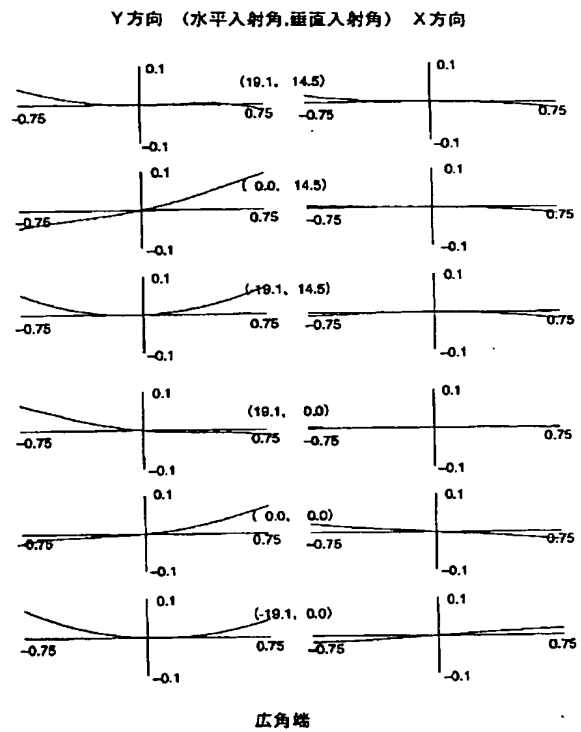


望遠端

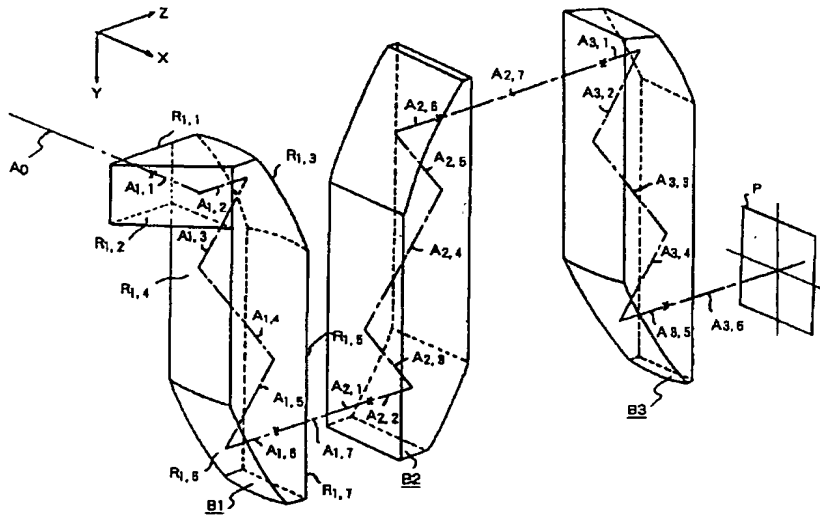
【圖37】



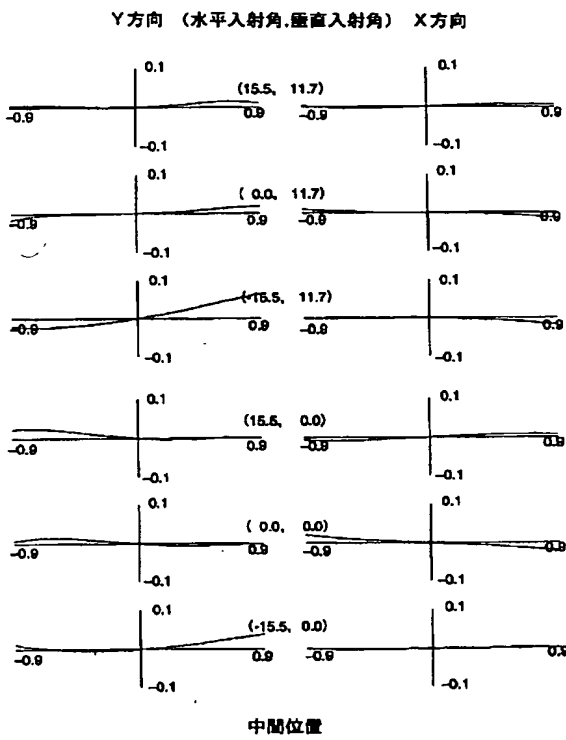
【圖38】



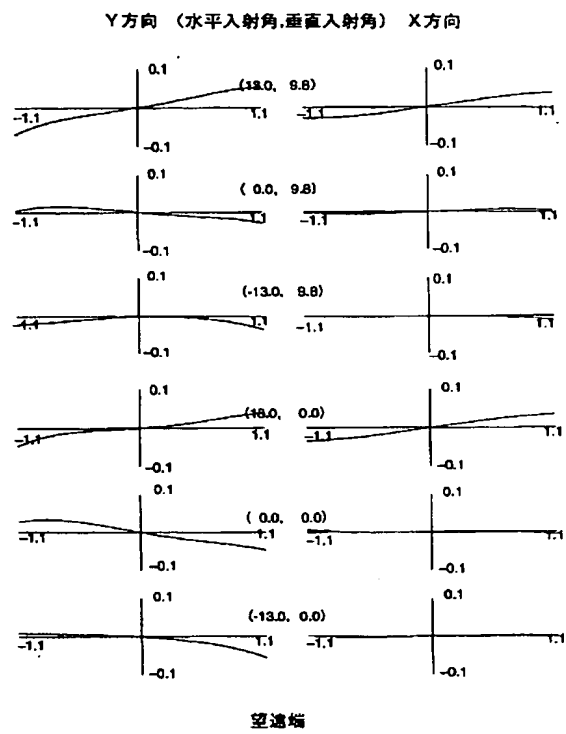
【圖58】



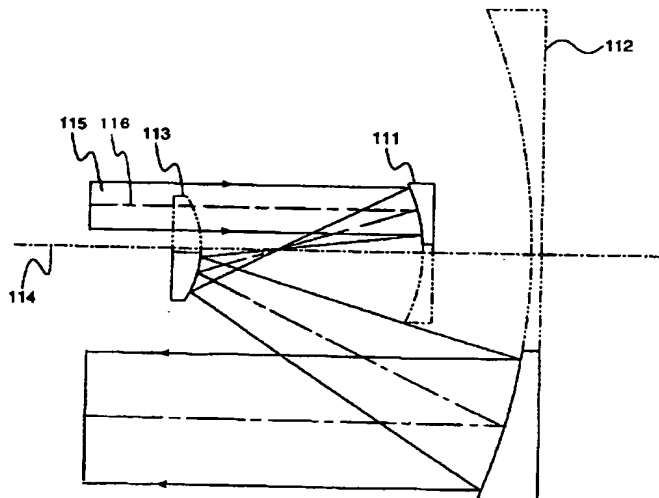
【図39】



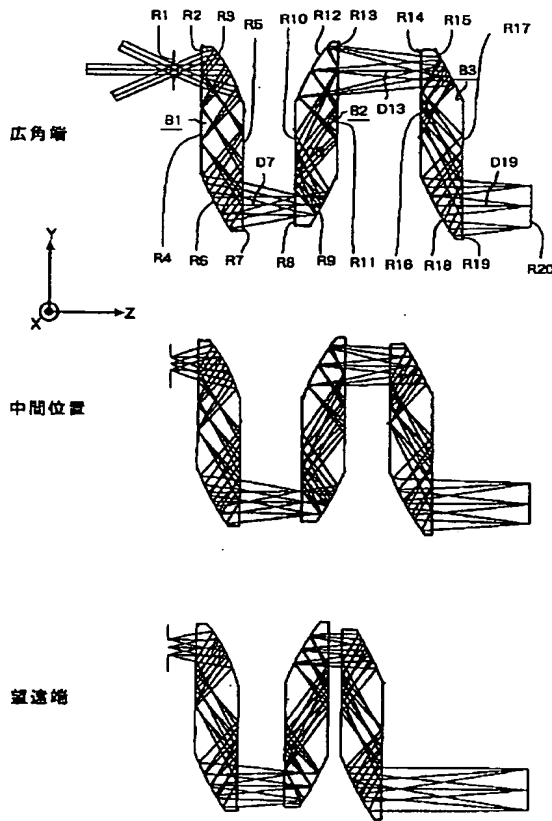
【図40】



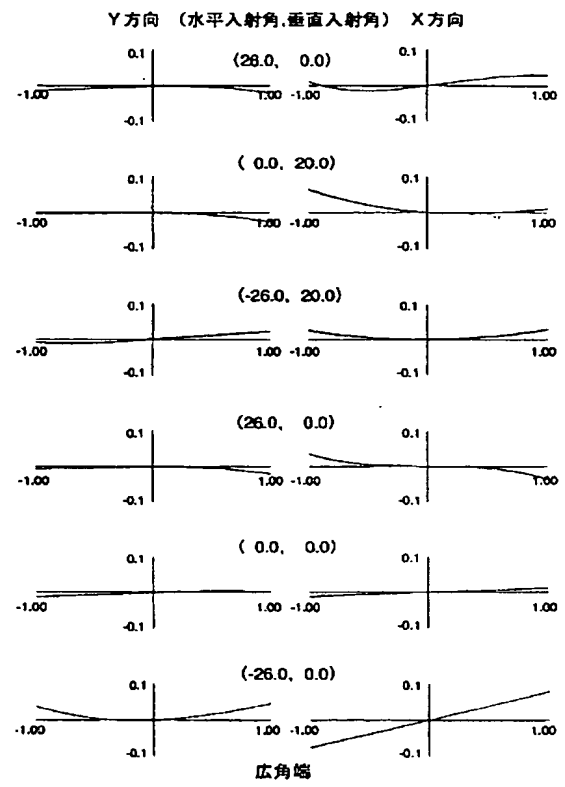
【図60】



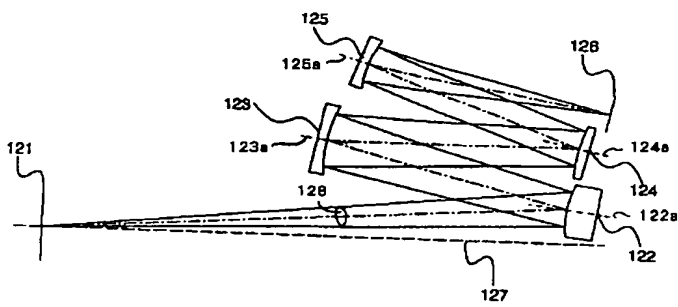
【図41】



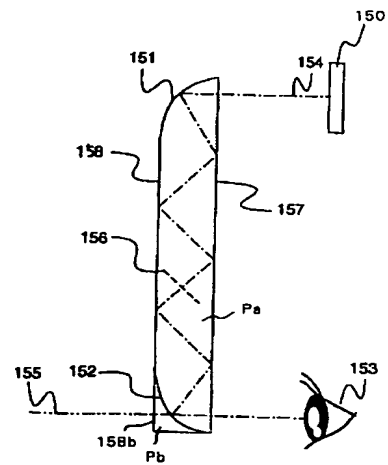
【図43】



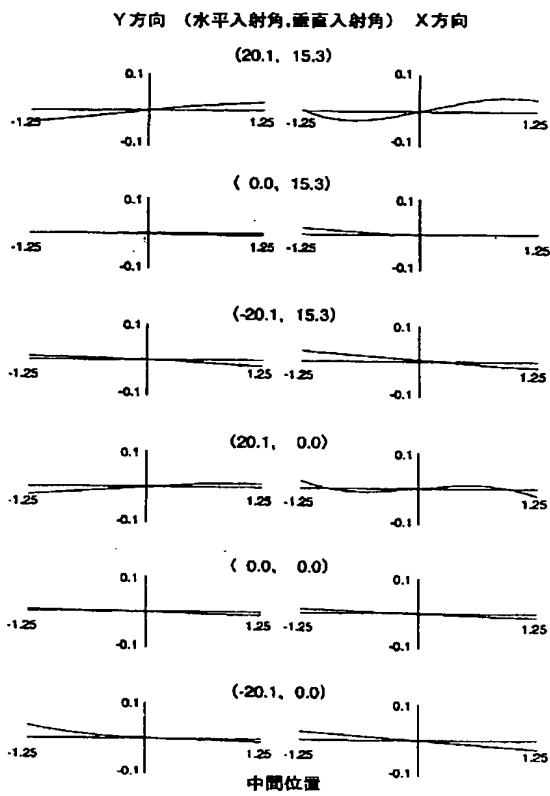
【図61】



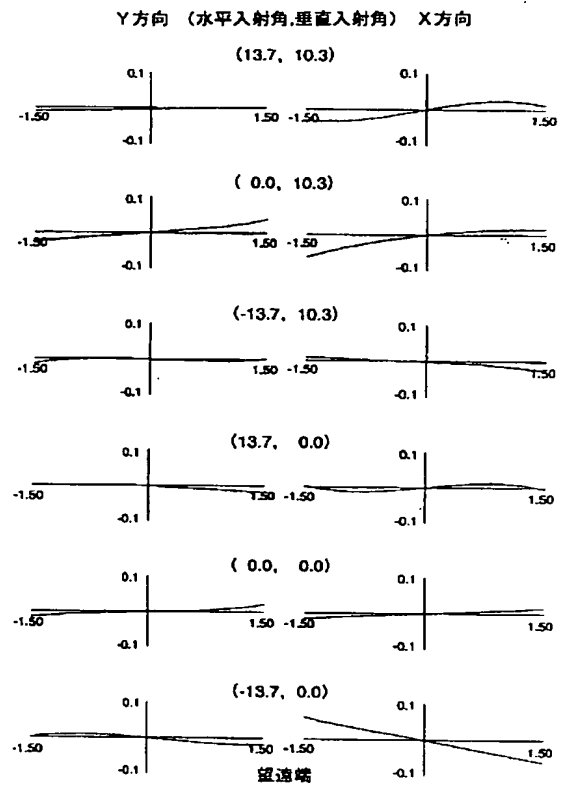
【図64】



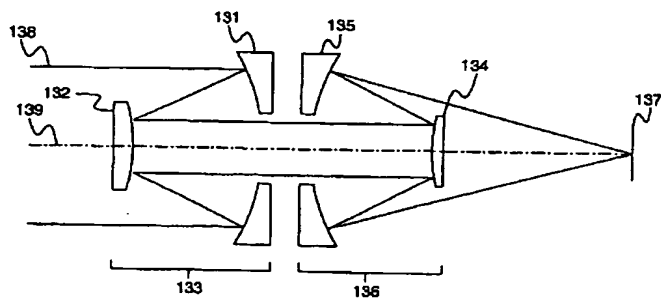
【図44】



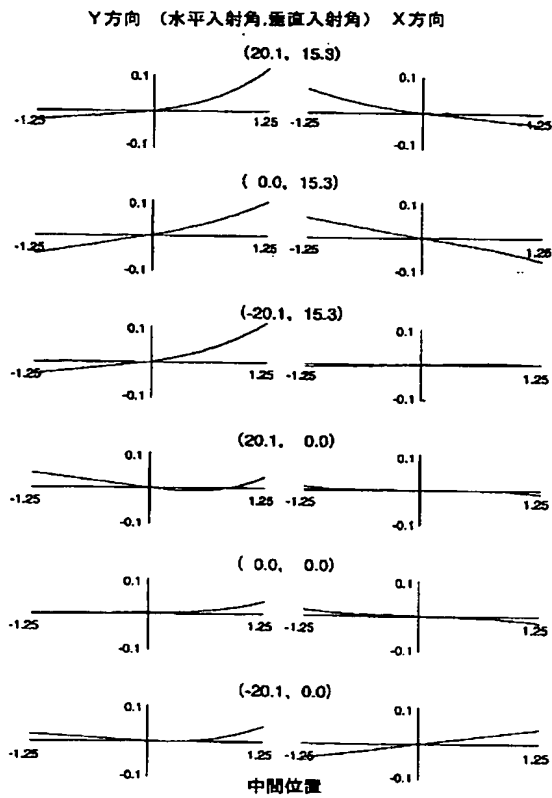
【図45】



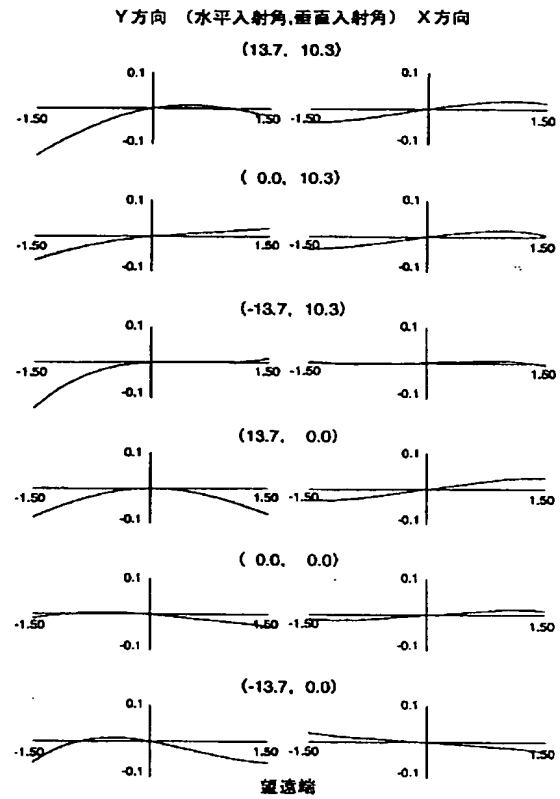
【図62】



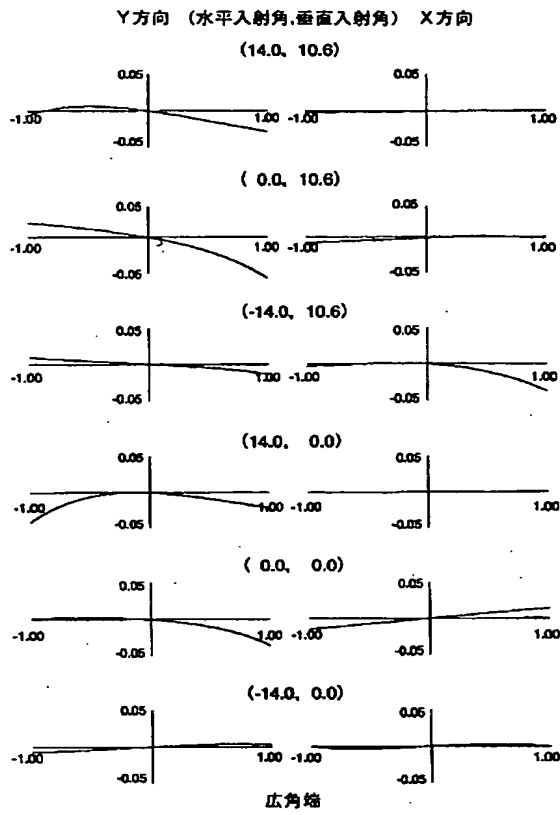
【図48】



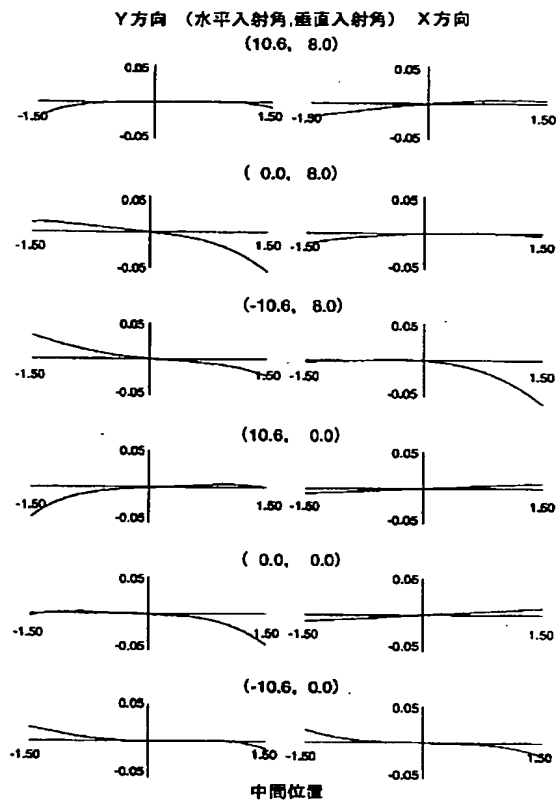
【図49】



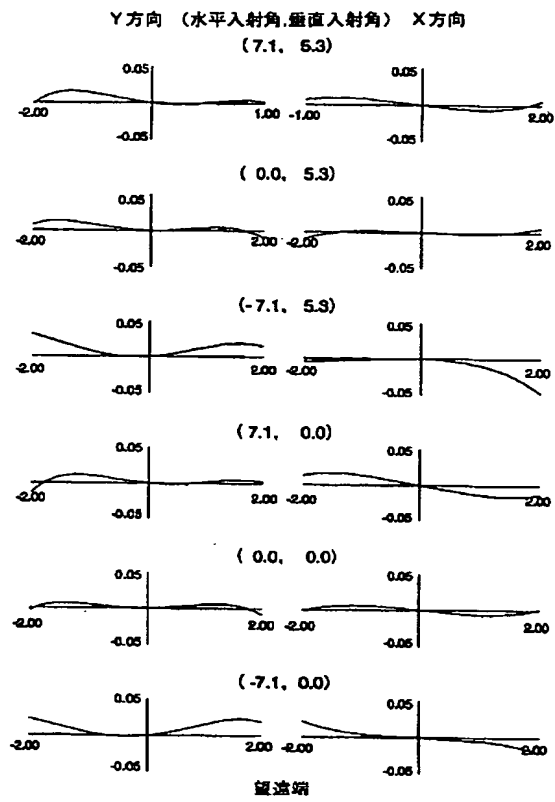
【図51】



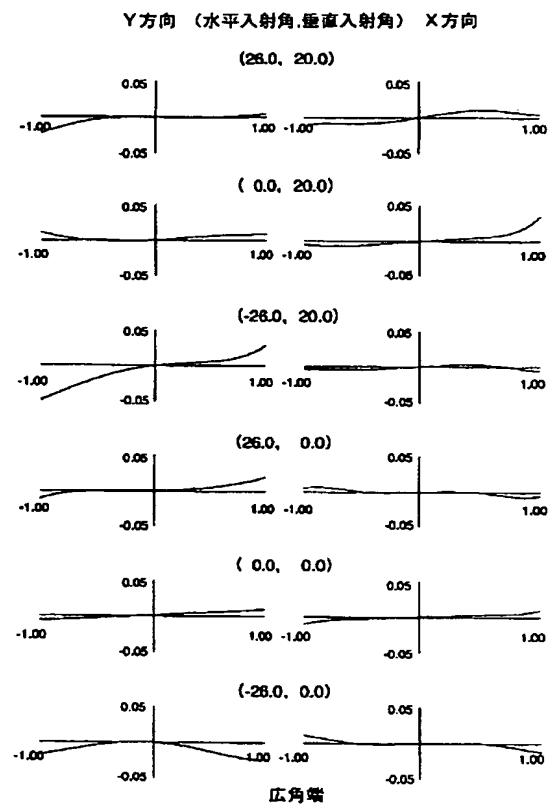
【図52】



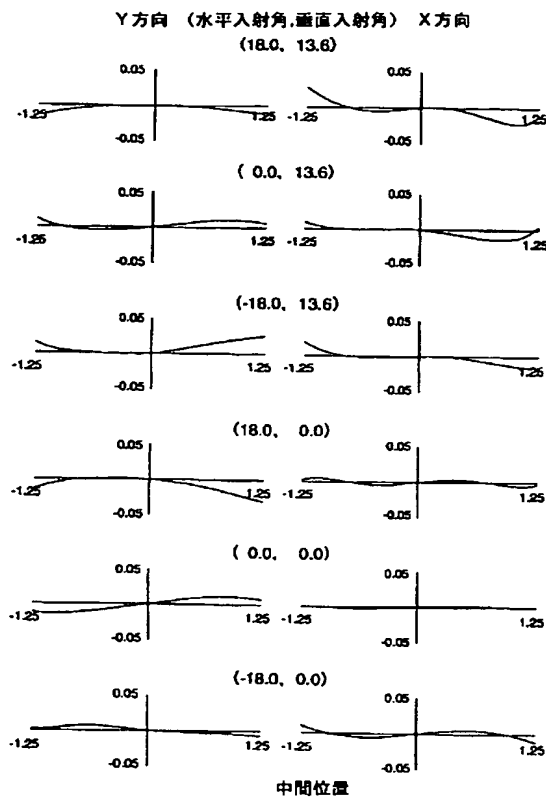
【図53】



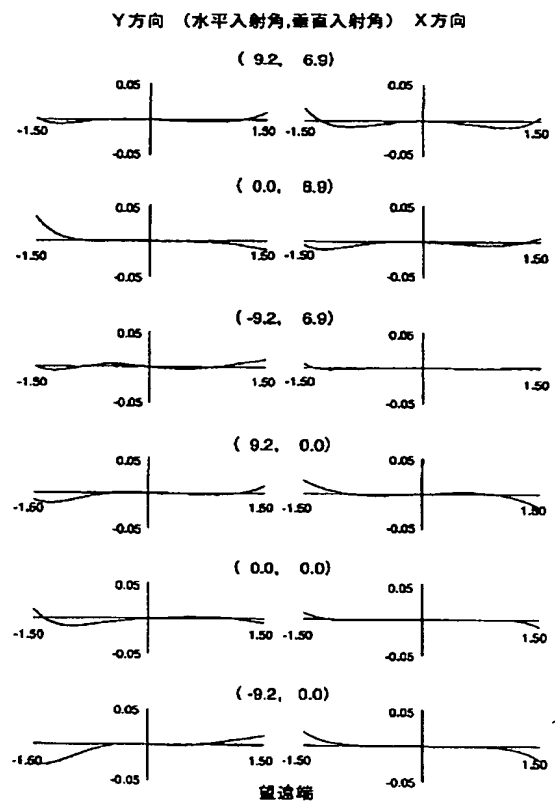
【図55】



【図56】



【図57】



フロントページの続き

(72)発明者 木村 研一
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 難波 則広
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 猿渡 浩
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 秋山 健志
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載
 【部門区分】第 6 部門第 2 区分
 【発行日】平成 11 年（1999）12 月 24 日

【公開番号】特開平 8-292372
 【公開日】平成 8 年（1996）11 月 5 日
 【年通号数】公開特許公報 8-2924
 【出願番号】特願平 7-123236
 【国際特許分類第 6 版】

G02B 17/08
 15/00

【F I】

G02B 17/08
 15/00

【手続補正書】

【提出日】平成 11 年 5 月 11 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】発明の名称

【補正方法】変更

【補正内容】

【発明の名称】 ズーム光学系及びそれを備える
 撮像装置

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも 2 個の光学素子を移動させて
 ズーミングを行なうズーム光学系において、前記少なく
 とも 2 個の光学素子を、透明体の表面に複数の曲面反射
 面を有し、該透明体の内部に入射した光を該複数の曲面
 反射面で順次反射して該透明体から射出させる光学素
 子、又は／及び複数の表面が曲面の表面反射鏡が一体化
 され、該複数の表面反射で光を順次反射する光学素子、
 により構成したことを特徴とするズーム光学系。

【請求項 2】 少なくとも 2 個の光学素子を移動させて
 ズーミングを行なうズーム光学系において、前記少なく
 とも 2 個の光学素子を、透明体の表面に基準軸に対して
 傾いた複数の曲面反射面を有し、該複数の曲面反射面は
 それぞれ非回転対称な面形状を有し、該透明体の内部に
 入射した光を該複数の曲面反射面で順次反射して該透明
 体から射出させる光学素子、又は／及び複数の表面が曲
 面で且つ基準軸に対して傾いている表面反射鏡が一体化
 され、該複数の表面反射鏡の表面がそれぞれ非回転対称
 な形状を有し、該複数の表面反射鏡で光を順次反射する
 光学素子、により構成したことを特徴とするズーム光学
 系。

【請求項 3】 少なくとも 2 個の光学素子を移動させて
 ズーミングを行なうズーム光学系において、前記少なく
 とも 2 個の光学素子を、透明体の表面に基準軸に対して
 傾いた複数の曲面反射面を有し、該複数の曲面反射面は
 それぞれ一対の対称な面を定める対称面が 2 個以上存在
 しない非球面であり、該透明体の内部に入射した光を該
 複数の曲面反射面で順次反射して該透明体から射出させ
 る光学素子、又は／及び複数の表面が曲面で且つ基準軸
 に対して傾いている表面反射鏡が一体化され、該複数の
 表面反射鏡の表面がそれぞれ一対の対称な面を定める対
 称面が 2 個以上存在しない非球面であり、該複数の表面
 反射鏡で光を順次反射する光学素子、により構成したこ
 とを特徴とするズーム光学系。

【請求項 4】 前記少なくとも 2 個の光学素子は、夫々
 入射する基準軸と射出する基準軸が平行であることを特
 徴とする請求項 1、2 又は 3 のズーム光学系。

【請求項 5】 前記少なくとも 2 個の光学素子は、1 つ
 の移動平面上で互いに平行に移動することを特徴とする
 請求項 1、2、3 又は 4 のズーム光学系。

【請求項 6】 前記少なくとも 2 個の光学素子は、夫々
 入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向い
 ていることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項の
 ズーム光学系。

【請求項 7】 前記少なくとも 2 個の光学素子の 1 つは
 入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向い
 ており、もう 1 つの光学素子は入射する基準軸と射出す
 る基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴とす
 る請求項 1～5 のいずれか 1 項のズーム光学系。

【請求項 8】 前記少なくとも 2 個の光学素子は、夫々
 入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向
 いていることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 項
 のズーム光学系。

【請求項 9】 前記少なくとも 2 個の光学素子のうちの
 1 つを移動してフォーカシングすることを特徴とする請

請求項1～8のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項10】 前記少なくとも2個の光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングすることを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項11】 前記ズーム光学系は、その光路の中で少なくとも1回、物体像を中間結像することを特徴とする請求項1～10のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項12】 前記複数の反射面及び／又は複数の反射鏡の反射面は、対称面を1つだけ有する形状であることを特徴とする請求項1～11のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項13】 前記少なくとも2個の光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にあることを特徴とする請求項1～12のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項14】 前記少なくとも2個の光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にあることを特徴とする請求項13のズーム光学系。

【請求項15】 前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、前記少なくとも2個の光学素子が移動する移動平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴とする請求項1～14のいずれか1項に記載のズーム光学系。

【請求項16】 前記少なくとも2個の光学素子は、互いに傾いている2個の移動平面上で夫々移動することを特徴とする請求項1、2、3又は4のズーム光学系。

【請求項17】 請求項1～16のいずれか1項に記載のズーム光学系を備え、撮像媒体の撮像面上に物体の像を結像することを特徴とする撮像装置。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0001

【補正方法】変更

【補正内容】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はズーム光学系及びそれを備える撮像装置に関し、特に複数の反射面を有した光学素子を複数個用い、そのうち少なくとも2つの光学素子の相対的位置を変位させることによりズーム（変倍）を行ったビデオカメラやスチールビデオカメラ、そして複写機等に好適なものである。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】本発明は、複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切

に変化させてズームを行うことにより、ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにしたズーム光学系及びそれを備える撮像装置の提供を目的とする。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型のズーム光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、各光学素子を構成する反射面を偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図ったズーム光学系及びそれを備える撮像装置の提供を目的とする。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明のズーム光学系は、少なくとも2個の光学素子を移動させてズームを行なうズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子を、透明体の表面に複数の曲面反射面を有し、該透明体の内部に入射した光を該複数の曲面反射面で順次反射して該透明体から射出させる光学素子、又は／及び複数の表面が曲面の表面反射鏡が一体化され、該複数の表面反射で光を順次反射する光学素子、により構成したことを特徴としている。請求項2の発明のズーム光学系は、少なくとも2個の光学素子を移動させてズームを行なうズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子を、透明体の表面に基準軸に対して傾いた複数の曲面反射面を有し、該複数の曲面反射面はそれぞれ非回転対称な面形状を有し、該透明体の内部に入射した光を該複数の曲面反射面で順次反射して該透明体から射出させる光学素子、又は／及び複数の表面が曲面で且つ基準軸に対して傾いている表面反射鏡が一体化され、該複数の表面反射鏡の表面がそれぞれ非回転対称な形状を有し、該複数の表面反射鏡で光を順次反射する光学素子、により構成したことを特徴としている。請求項3の発明のズーム光学系は、少なくとも2個の光学素子を移動させてズームを行なうズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子を、透明体の表面に基準軸に対して傾いた複数の曲面反射面を有し、該複数の曲面反射面はそれぞれ一対の対称な面を定める対称面

が2個以上存在しない非球面であり、該透明体の内部に入射した光を該複数の曲面反射面で順次反射して該透明体から射出させる光学素子、又は／及び複数の表面が曲面で且つ基準軸に対して傾いている表面反射鏡が一体化され、該複数の表面反射鏡の表面がそれぞれ一対の対称な面を定める対称面が2個以上存在しない非球面であり、該複数の表面反射鏡で光を順次反射する光学素子、により構成したことを特徴としている。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】請求項4の発明は請求項1、2又は3のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸が平行であることを特徴としている。請求項5の発明は請求項1、2、3又は4のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子は、1つの移動平面上で互いに平行に移動することことを特徴としている。請求項6の発明は請求項1から5のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いていることを特徴としている。請求項7の発明は請求項1から5のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子の1つは入射する基準軸と射出する基準軸の方向が同方向を向いており、もう1つの光学素子は入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴としている。請求項8の発明は請求項1から5のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子は、夫々入射する基準軸と射出する基準軸の方向が反対方向を向いていることを特徴としている。請求項9の発明は請求項1から8のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子のうちの1つを移動してフォーカシングすることことを特徴としている。請求項10の発明は請求項1から9のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子以外の光学素子を移動してフォーカシングすることことを特徴としている。請求項11の発明は請求項1から10のいずれか1項のズーム光学系において、前記ズーム光学系は、その光路の中で少なくとも1回、物体像を中間結像することことを特徴としている。請求項12の発明は請求項1から11のいずれか1項のズーム光学系において、前記複数の反射面及び／又は複数の反射鏡の反射面は、対称面を1つだけ有する形状であることを特徴としている。請求項13の発明は請求項1から12のいずれか1項のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子の基準軸がすべて1つの平面上にあることを特徴としている。請求項14の発明は請求項13のズーム光学系において、前記少なくとも2個の

光学素子以外の光学素子の基準軸の少なくとも一部が前記平面上にあることを特徴としている。請求項15の発明は請求項1から14のいずれか1項のズーム光学系において、前記複数の光学素子のうちの少なくとも1つの光学素子は、基準軸と反射面の交点における該反射面の法線が、前記少なくとも2個の光学素子が移動する移動平面に対して傾いている反射面を有していることを特徴としている。請求項16の発明は請求項1、2、3又は4のズーム光学系において、前記少なくとも2個の光学素子は、互いに傾いている2個の移動平面上で夫々移動することことを特徴としている。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正内容】

【0042】請求項17の発明の撮像装置は請求項1から16のいずれか1項のズーム光学系を備え、撮像媒体の撮像面上に物体の像を結像することことを特徴としている。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正内容】

【0058】なお、各面の座標値は広角端での値を示し、中間、望遠端では広角端との差で記述する。具体的には広角端(W)に対する中間位置(M)、望遠端(T)での移動量を各々 Ma, Mb とすれば、以下の式で表す： $Zi(M) = Zi(W) + Ma Zi(T) = Zi(W) + Mb$ なお、 Ma, Mb の符号は各面がZプラス方向に移動する場合を正、Zマイナス方向に移動する場合を負としている。また、この移動に伴い変化する面間隔 Di は変数であり、各変位位置での値を別表にまとめて示す。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

【補正方法】変更

【補正内容】

【0061】

【数1】

$$z = \frac{(x^2 + y^2)/R_i}{1 + \{(1 - (x^2 + y^2)/R_i^2)\}^{1/2}}$$

また、本発明の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は以下の式により表す(但し、 a, b, t は形状に関する係数である)：

$$A = (a+b) \cdot (y^2 \cdot \cos^2 t + x^2)$$

$$B = 2a \cdot b \cdot \cos t [1 + \{(b-a) \cdot y \cdot \sin t / (2a \cdot b)\} + \{1 + \{(b-a)$$

$$\cdot y \cdot \sin t / (a \cdot b) \} - \{ y^2 / (a \cdot b) \} - \{ 4a \cdot b \cdot \cos^2 t + (a+b)^2 \sin^2 t \} x^2 / (4a^2 b^2 \cos^2 t) \}^{1/2}]$$

として

$$z = A/B + C_0 \cdot y^2 + C_2 \cdot x^2 + C_0 \cdot y^4 + C_2 \cdot x^2 y + C_0 \cdot y^6 + C_2 \cdot x^2 y^2 + C_0 \cdot x^4$$

上記曲面式はxに関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面対称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して面対称な形状を表す。従って以下の条件が満たされない場合は、xz面に対して面対称な形状とはならず、対称面はyz面の1面のみとなり、2面以上にはならない。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0306

【補正方法】変更

【補正内容】

【0306】

【発明の効果】本発明は以上のように各要素を設定することにより、特に複数の曲面や平面の反射面を一体的に形成した光学素子を複数用い、該複数の光学素子のうちの少なくとも2つの光学素子の相対的位置を適切に変化させてズームを行うことにより、ミラー光学系全体の小型化を図りつつ、又ミラー光学系にありがちな反射ミラーの配置精度（組立精度）を緩やかにしたズーム光学系及びそれを備える撮像装置を達成することができる。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0307

【補正方法】変更

【補正内容】

【0307】また、絞りを光学系の最も物体側に配置し、且つ該光学系の中で物体像を少なくとも1回結像させる構成とすることにより、広画角の反射型のズーム光学系でありながら、光学系の有効径の縮小化を図ること、そして該光学素子を構成する複数の反射面に適切な屈折力を与え、各光学素子を構成する反射面を偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、該光学系の所定方向の全長の短縮化を図ったズーム光学系及びそれを備える撮像装置を達成することができる。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0308

【補正方法】変更

【補正内容】

【0308】この他本発明によれば、

(ア-1) 曲率を有する複数の反射面を一体的に形成した光学素子を複数個有する光学系において、該複数の光

学素子の相対的位置を変化させ、光学系の変倍（ズーム）及びフォーカシングを行う構成とすることにより、変倍時に移動する反射面がユニット化されている為に、従来のミラー光学系における変倍動作に比して、最も精度が要求される各反射面の相対的な位置精度を保證することが出来るので、変倍に伴う光学性能の劣化を防ぐことが出来る。

(ア-2) 反射面が一体の上に形成された光学素子を用いる為に、光学素子自体が鏡筒の役目を果たすので、従来の鏡筒に比べて著しく簡単なマウント部材で済む。

(ア-3) 屈折レンズ系に比して、各光学素子を曲面を有する複数の面が一体的に形成されたレンズユニットとしている為に、撮影系全体の部品点数を少なくすることが出来る。従って部品点数の点から撮影系の低コスト化が達成出来る。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0309

【補正方法】変更

【補正内容】

【0309】更に、撮影系全体の部品点数を少なくすることが出来るため、部品の取り付けによる累積誤差を少なくし、光学性能の劣化を防ぐことが出来る。

(ア-4) 光学素子上の各反射面を適切な位置に偏心配置することにより、光学系内の光路を所望の形状に屈曲し、光学系の全長方向の短縮化を達成できる。

(ア-5) 変倍に際して固定の光学素子を設けることにより、基準軸の一部を基準軸の殆どを含む平面に対して任意角度傾けることができ、カメラの形態に自由度を増すことが出来る。

(ア-6) 多数回の結像を繰り返して物体像を伝達して行く構成を採ることにより、各面の光線有効径を小さく抑え、撮影光学系全体のコンパクト化を達成している。

(ア-7) 中間結像面の結像サイズを撮像素子面サイズに比して比較的小さく設定することにより、物体像の伝達に際して各面の光線有効径を小さく抑えることができる。

(ア-8) 相対的位置を変化させる2つの光学素子中の基準軸をはじめ、殆どの基準軸を含む平面と平行に光学素子が移動する平面を設定することにより、光学素子が変倍に際して移動しても、基準軸を含む平面と各光学素子が移動する平面との平行度が容易に保たれる。従って、変倍に際して移動する光学素子の移動平面と基準軸を含む平面との傾きによって生じる偏心収差の発生を除去している。

(ア-9) 変倍時における各光学素子の移動は一平面上にて行われるので、移動方向に垂直な方向の平行偏心は容易に防ぐことができる。又、移動平面に垂直な面内の回転は原理的に除去できる。

(ア-10) 各光学素子は一平面上に配置されているので、各光学素子を一方方向から組み込むことができ、組み立てが容易となり、組み立てコストを低減することができる。

(ア-11) 光学系に配置される絞りを光学系の物体

側に配置することにより、光学系を広画角化してもレンズ径が大きくなりえないズームレンズを達成することができる。

等の少なくとも1つの効果を有したズーム光学系及びそれを備える撮像装置を達成することができる。